PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY

ORGAN STOWARZYSZENIA ELEKTRYKÓW POLSKICH
CENTRALNEGO ZARZĄDU ENERGETYKI, CENTRALNEGO ZARZĄDU PRZEMYSŁU ELEKTROTECHNICZNEGO
Redaktor inż. Tadeusz Czaplicki

Rok XXIII | Warszawa, 21 sierpnia 1947 r. | Zeszyt 7/8

KRONIKA

XXII. Elektroenergetyka atomowa z punktu widzenia gospodarczego.

O stronie gospodarczej wyzyskania energii atomowej w elektrowni cieplnej nic całkiem pewnego nie można dziś powiedzieć, gdyż nie mamy jeszcze żadnego doświadczenia w tej dziedzinie. Nie wiemy dokładnie, ile wynosić będą koszty inwestycyjne przyszłych „stosowni", które jako wytwórnie energii cieplnej zastąpią nam dzisiejsze kotłownie, nie wiemy, jaka będzie cena rynkowa surowca atomowego — uranu, który zastąpi dzisiejszy węgiel, nie wiemy, ile wyniosą w praktyce koszty ruchu stosowni. Nie wiemy wreszcie, jak się odbiją na kosztach produkcji nieuniknione ograniczenia, wypływające ze względów wojskowych, politycznych i in.

Pierwsze informacje w sprawach natury gospodarczej, pochodzące od inżynierów, którzy stworzyli amerykańskie fabryki bomb atomowych, i przytoczone w niniejszym zeszycie, głoszą, że średni koszt 1 kWh w elektrowni atomowej będzie na ogół tego samego rzędu, co w dzisiejszej nowoczesnej wielkiej elektrowni węglowej, z dużym prawdopodobieństwem, że energia elektryczna pochodząca z atomu wypadnie w wielu wypadkach taniej, niż energia z paliwa.

Ale same koszty produkcji prądu loco elektrownia nie są wystarczającym miernikiem do porównania gospodarczego energii elektrycznej, pochodzącej z atomu, z energią elektryczną, pochodzącą z węgla. Pierwsza ma pod względem gospodarczym niezawodną wyższość nad drugą z tego powodu, że surowiec energetyczny dla elektrowni atomowej w zasadzie we wszystkich punktach świata, a więc loco dowolna elektrownia kosztuje to samo, gdy cena węgla loco elektrownia zależy od odległości między elektrownią a kopalnią. Różnica między elektrowniami obu typów pochodzi stąd, że koszt przewozu surowca atomowego nie odgrywa w porównaniu z transportem węgla żadnej roli, albowiem waga tego surowca jest nikła w porównaniu z wagą węgla: 1 tona uranu daje przy rozbijaniu jego atomów tyleż energii, ile uzyskuje się jej w formie ciepła przy spaleniu 2,5 miliona ton węgla.

Z powyższych rozważań, w których pominięto możliwość różnych kosztów budowy elektrowni w różnych punktach świata oraz możliwość różnych kosztów zaopatrzenia elektrowni w wodę w różnych miejscach, autor amerykański wysnuwa słuszny w zasadzie wniosek, że energię elektryczną z atomu będzie można otrzymać we wszystkich punktach świata po jednakowej cenie. I ta właśnie okoliczność w pewnych przypadkach rokuje energii atomowej dużą przewagę gospodarczą nad energią węglową. Bywa to np. w tych przemysłach przetwórczych, które przerabiają na jednostkę swego gotowego produktu duże ilości ciężkich surowców, wydobywanych jedynie w rzadkich punktach globu ziemskiego i z dala od dotychczas znanych źródeł energetycznych, a które jednocześnie do swego procesu przetwórczego wymagają dużych ilości taniej energii elektrycznej. W tym przypadku energia atomowo-elektryczna może okazać się znacznie korzystniejszą od energii węglowo-elektrycznej, gdyż pozwoli przez ulokowanie fabryki wraz z elektrownią atomową przy złożach surowca fabrykacyjnego osiągnąć duże oszczędności na kosztach przewozu bądź surowców fabrykacyjnych do miejsca taniej energii elektrycznej, bądź węgla do miejsca wydobycia surowców fabrykacyjnych. Elektrownia atomowa może w takim przypadku konkurować również z elektrownią wodną bardzo odległą od miejsca wydobycia surowców fabrykacyjnych. Typowym przykładem takiego przemysłu, któremu energia atomowa może dać duże bezpośrednie korzyści gospodarcze na wskazanej wyżej drodze, jest przemysł aluminiowy. Dalszymi — pośrednimi — korzyściami byłyby: obniżenie ceny produktu (aluminium), wzrost spożycia, wzmożenie tętna gospodarczego.

XXIII. Przesył energii prądem stałym.

Idea zastosowania prądu stałego do przesyłu dużych ilości energii na dalekie odległości pociągała elektryków od chwili powstania zagadnienia przesyłu. I jest to rzecz zrozumiała. Wszak przy tej samej izolacji linia na prądzie stałym wytrzymuje napięcie o 40% wyższe niż na prądzie zmiennym. Na prądzie stałym nie ma tych ujemnych stron, które występują w liniach prądu zmiennego wskutek przesunięcia fazy, wskutek prądów wirowych, histerezy, pojemności, strat dielektrycznych. Na prądzie stałym mamy linie tylko z dwu przewodów, a przesył jest możliwy nawet o jednym przewodzie przy wyzyskaniu ziemi jako drogi powrotnej. Lecz wielką przyrodzoną wadą prądu stałego jest brak prostego sposobu przetwarzania go z jednego napięcia na inne.

W historii elektroenergetyki piękną kartę otrzymał Thury za swój system przesyłu prądem stałym, doskonale opracowany pod względem technicznym do najdrobniejszych szczegółów. Ale system ten, oparty na otrzymywaniu wysokiego napięcia z dużej liczby w szereg włączonych prądnic, pracujących przy stałym natężeniu prądu, i na przetwarzaniu energii na krańcu odbiorczym za pośrednictwem analogicznie włączonych silników, nie był w stanie sprostać stale rosnącym wymaganiom przesyłu energii przy bardzo wysokich napięciach w warunkach nowoczesnej gospodarki zespołowej zakładów sprzężonych.

Tak głośno reklamowany przed dwudziestu z górą laty „transverter" zawiódł widocznie pokładane w nim nadzieje, skoro nic o nim nie słychać.

Po ostatniej wojnie ukazała się na horyzoncie nowa wiele obiecująca zdobycz w dziedzinie przesyłu energii prądem stałym w postaci prostownika rtęciowego z siatką sterowniczą, który jak się zdaje, zagadnienie tego przesyłu potrafi rozwiązać w sposób zadowalający. Przemysł elektrotechniczny w Szwajcarii, Szwecji i Ameryce pracuje wytrwale nad udoskonaleniem „przekształtnika" (tak nazywamy po polsku ów przyrząd do przetwarzania prądu stałego na zmienny i odwrotnie) oraz nad opracowaniem urządzeń pomocniczych, np. wyłącznika na prąd stały pewnego w działaniu.

Doniosłe znaczenie mają przewidywania poparte obliczeniami gospodarczymi, że przesył energii na prądzie stałym za pomocą kabla podziemnego niewiele będzie droższy od przesyłu linią napowietrzną.

Jest nadzieja, że powyższy system prądu stałego już niezadługo będzie na dużą skalę wypróbowany w praktyce.

XXIV. Pięćdziesięciolecie promieni X.

W r. 1945, końcowym roku wojny, upłynęło pół wieku od daty wielkiego odkrycia Roentgena. Świat naukowy i techniczny wszystkich krajów uczcił wówczas pamiętną rocznicę przeglądem owoców, które odkrycie to przyniosło ludzkości. Pismo nasze, które wówczas jeszcze nie było wznowione, z opóźnieniem upamiętni jubileusz w serii artykułów. Dziś podajemy przegląd obecnej produkcji przodującego na świecie przemysłu rentgenowskiego, jako materiał pilny naszemu odradzającemu się przemysłowi aparatów elektrycznych w dziedzinie sprzętu elektromedycznego.

Tadeusz Czaplicki

Biblioteka Politechniki Wrocławskiej

PROF. DR SZCZEPAN SZCZENIOWSKI

Energia atomowa (Dokończenie)

V. WYZWALANIE ENERGII WEWNĄTRZJĄDROWEJ NA WIELKĄ SKALĘ

26. Energia wewnątrzjądrowa jako źródło energii słonecznej.

W technice dzisiejszej głównymi źródłami energii są: ciepło spalania węgla, ciepło spalania ropy lub jej pochodnych, energia wody rzek i energia wiatru. Projektuje się wykorzystanie energii przypływów i odpływów. Z wyjątkiem ostatniej energii wszystkie inne tu wymienione są pochodnymi energii promieniowania słonecznego. Jest to oczywiste, jeśli chodzi o energię wody i wiatru. Wiatr powstaje wskutek różnic ciśnienia i temperatury w atmosferze, te zaś wywoływane są przez nierównomierne nagrzewanie różnych części powierzchni ziemi, a więc powstają na koszt energii słonecznej. Woda w rzekach powstaje z opadów atmosferycznych, te zaś powstają wskutek kondensacji pary wodnej, wytwarzanej w dużych ilościach przez działanie promieniowania słonecznego na powierzchnię oceanów i mórz.

Nieco bardziej skomplikowana jest sprawa energii wytwarzanej przez spalanie węgla. Pokłady węgla powstały przez zwęglenie wielkich ilości roślin ubiegłych epok geologicznych, głównie epoki węglowej. Otóż tkanka roślinna rozrasta się przez przyswajanie dwutlenku węgla z atmosfery; przetwarzanie go jest bardzo złożonym procesem fotochemicznym endotermicznym, przy czym energii na prowadzenie reakcji chemicznych dostarczają pochłonięte fotony promieniowania słonecznego. A zatem tkankę roślin można uważać z punktu widzenia energetycznego za kondensator energii promieniowania słonecznego, energia zaś węgla jest właściwie zakonserwowaną energią promieniowania słonecznego ubiegłych epok.

Złoża ropy powstały skutkiem przetworzenia się dużych ilości szczątków zwierzęcych w odpowiednich warunkach ciśnienia i temperatury. Ale tkanki zwierząt roślinożernych powstają na koszt tkanek roślinnych, tkanki zaś zwierząt mięsożernych — na koszt tkanek zwierząt roślinożernych, a więc w ostatecznej instancji w jednym i drugim wypadku na koszt roślin, czyli znów na koszt energii słonecznej.

Tak więc istotnie słońce jest źródłem całej energii, z jakiej dziś korzystamy w technice. Jedynie energia przypływów i odpływów jest innego pochodzenia, gra tu rolę nie promieniowanie słoneczne, lecz pole grawitacyjne słońca i księżyca; jeśli więc i tu nawet część energii jest pochodzenia słonecznego, nie jest to energia promieniowania słonecznego.

Również i energia wulkanów, jak i ciepło wnętrza ziemi, nie jest pochodzenia słonecznego.

Jakkolwiek słońce jest pierwotnym źródłem wszelkiej niemal energii, jaką mamy dziś do rozporządzenia na ziemi, trzeba pamiętać, że ze względu na bardzo wielką odległość ziemi od słońca dochodzi do niej jedynie bardzo drobny ułamek całkowitej energii promieniowanej przez słońce. Moc promieniowania słonecznego, padającego na powierzchnię ustawioną prostopadle do kierunku promieni, wynosi 1,35 kW/m^2 (nie bierzemy tu pod uwagę pochłaniania w atmosferze ziemi). Wynika stąd po prostym przerachowaniu, że każdy metr kwadratowy powierzchni słońca promieniuje mocą 61 000 kW. Dane astronomiczne prowadzą do wniosku, że słońcu przypisać należy wiek rzędu 10^{10} lat, przy czym, jak wynika znów z danych geologicznych, przynajmniej w okresie $2 \,.\, 10^9$ lat (wiek najstarszych złóż geologicznych) nie widać śladów jakichś dostrzegalnych zmian w natężeniu promieniowania słonecznego. Powstaje więc pytanie, jakie są źródła energii słonecznej.

Helmholtz, który pierwszy postawił to pytanie w drugiej połowie ubiegłego wieku, sądził, że energia promieniowana przez słońce powstaje na koszt ciepła wywiązywanego przy kurczeniu się kuli gazowej, jaką stanowi słońce. Kula taka promieniując traci ciepło, a więc kurczy się; wskutek tego poszczególne jej warstwy zbliżają się — spadają — ku środkowi słońca w jego własnym polu grawitacyjnym; przez to ich energia grawitacyjna zamienia się w kinetyczną, ta zaś w cieplną i z kolei w promienistą. Ale dokładne przerachowane tego procesu prowadzi do wniosku, że energii wyzwolonej przez kurczenie się słońca od promienia nieskończenie wielkiego do dzisiejszej wartości promienia starczyłoby zaledwie na podtrzymanie promieniowania w ciągu $2{,}4 . 10^7$ lat, a więc na okres czasu tysiąc razy krótszy, niż w rzeczywistości. Należy zatem rozejrzeć się za innymi źródłami energii. Dzisiaj, gdy wiemy, jak wielkie ilości energii wyzwalają się przy reakcjach jądrowych, jasną jest rzeczą, że źródłem energii słońca — i przeważnej większości gwiazd — musi być energia wewnątrzjądrowa.

Dzisiejsza dokładna znajomość reakcyj jądrowych lekkich pierwiastków pozwoliła Bethemu i von Weizsäckerowi ustalić z dużym stopniem pewności, jakie mianowicie reakcje jądrowe podtrzymują promieniowanie słońca.

Chodzi tu o następujące reakcje:

$$C_6^{12} + H_1^1 \rightarrow {}^{+}N_7^{13} \; (2{,}5 \,.\, 10^6 \text{ lat});$$
$$^{+}N_7^{13} \rightarrow C_6^{13} + e_1^0 \; (10 \text{ minut});$$
$$C_6^{13} + H_1^1 \rightarrow N_7^{14} \; (50.000 \text{ lat});$$
$$N_7^{14} + H_1^1 \rightarrow {}^{+}O_8^{15} \; (5.10^7 \text{ lat});$$
$$^{+}O_8^{15} \rightarrow N_7^{15} + e_1^0 \; (2 \text{ minuty});$$
$$N_7^{15} + H_1^1 \rightarrow C_6^{12} + He_2^4 \; (20 \text{ lat})$$

W powyższych wzorach e_1^0 oznacza pozytron, + zaś przy symbolu jądra oznacza promieniotwórczość β^+ tego jądra. Okresy w nawiasach są to okresy czasu, w ciągu których połowa jąder wyjściowych ulega przemianie. Okresy te można wyliczyć, znając zawartość wodoru (35%) i temperaturę (20 milionów stopni) w środku słońca.

W temperaturze tej średnia energia protonów (wszystkie lekkie atomy, a więc i wodór, są w środku słońca całkowicie zjonizowane, to jest pozbawione elektronów) wynosi 2 600 eV, dostrzegalny zaś ułamek protonów posiada energię rzędu 10^4 eV i więcej, wystarczającą do przenikania tunelowego wałów potencjału, chroniących wnętrza lekkich jąder. Cały cykl podanych reakcji przebiega w ciągu mniej więcej 50 milionów lat. Ponieważ znamy bardzo dokładnie energię wiązania wszystkich jąder wchodzących w rachubę oraz prawdopodobieństwa poszczególnych reakcji (odwrotnie proporcjonalne do okresów połowicznego przebiegu reakcji), możemy obliczyć energię wywiązywaną przeciętnie na sekundę; okazuje się, że jest ona właśnie tego rzędu, jakiego trzeba dla podtrzymania promieniowania słonecznego przez astronomiczne okresy.

Sumarycznie biorąc, cykl reakcji zachodzących we wnętrzu słońca daje się sprowadzić do reakcji:

$$4\,H_1^1 \rightarrow He_2^4 + 2e_1^0 + 6{,}1.10^8 \text{ kcal/mol}.$$

Jest to więc coś w rodzaju reakcji „spalania" wodoru na hel, oczywiście jest to spalanie tylko w sensie przenośnym.

Istnieje jeszcze inny cykl reakcji jądrowych, współdziałający w wytwarzaniu energii promieniowania słonecznego. Są to reakcje:

$$2\,H_1^1 \rightarrow {}^{+}He_2^2$$
$$^{+}He_2^2 \rightarrow H_1^2 + e_1^0;$$

(reakcje hipotetyczne nie obserwowane w laborat.)

$$H_1^2 + H_1^1 \rightarrow He_2^3 \; (2 \text{ sekundy});$$
$$He_2^3 + He_2^4 \rightarrow {}^{K}Be_4^7 \; (5.10^7 \text{ lat});$$
$$^{K}Be_4^7 + e_{-1}^0 \rightarrow Li_3^7 \; (500 \text{ dni});$$
$$Li_3^7 + H_1^1 \rightarrow 2He_2^4 \; (1 \text{ minuta}).$$

$^{K}Be_4^7$ oznacza izotop berylu, który ulega przemianie K, to znaczy, którego jądro chwyta elektron z poziomu K. I w tym przypadku przebieg cyklu trwa okrągło 50 milionów lat, sumaryczna zaś reakcja jest:

$$4\,H_1^1 + e_{-1}^0 \rightarrow He_2^4 + e_1^0 + 5{,}85.10^8 \text{ kcal/mol},$$

a więc w zasadzie jest to ta sama reakcja co poprzednio. Gra ona prawdopodobnie również rolę jako źródło energii słońca. W gwiazdach podobnych do słońca reakcje jądrowe przebiegają prawdopodobnie tak samo. Nieco inny przebieg mają reakcje w tzw. białych karłach — gwiazdach o bardzo dużej gęstości i bardzo małych wymiarach.

Inaczej wygląda sprawa źródeł energii tzw. czerwonych olbrzymów, gwiazd o bardzo wielkich rozmiarach i bardzo małej gęstości: temperatura ich wnętrz jest zbyt niska na to, by reakcje jądrowe mogły przebiegać z wystarczającym prawdopodobieństwem; prawdopodobnie w gwiazdach tych gra dużą rolę energia grawitacyjna, zgodnie z poglądem Helmholtza. Osobnej dyskusji wymaga też sprawa źródeł energii gwiazd zmiennych typu tzw. cefeid, ale są to już zagadnienia specjalne. W każdym razie z dyskusji powyższej widać, że zasadniczym źródłem wszelkiej energii, z jakiej dziś korzystamy w technice, jest za pośrednictwem energii promieniowania słonecznego energia wewnątrzjądrowa. Jasne jest, jak wielkie znaczenie ma wobec tego możliwość sięgnięcia wprost do olbrzymich zasobów tej energii zamiast korzystania z niej na drodze okólnej.

27. Wybuchowa reakcja łańcuchowa pęknięć jąder i warunki jej powstania.

Wspominaliśmy już poprzednio (§ 13) o niemożności wykorzystania zwykłych reakcji jądrowych do wyzwalania energii wewnątrzjądrowej na skalę techniczną, ze względu na znikomo małą sprawność tych reakcji. Gdybyśmy rozporządzali warunkami takimi, jakie panują we wnętrzu słońca, moglibyśmy odtwarzać na ziemi reakcje będące źródłem energii słonecznej, a zatem wyzwalać energię wewnątrzjądrową przez syntezę jąder najlżejszych pierwiastków; wywoływanie podobnych reakcji w stosach wydaje się możliwe innych jednak niż we wnętrzu słońca (§ 34).

Dopiero reakcja rozszczepiania się ciężkich jąder stworzyła po raz pierwszy w warunkach ziemskich możliwość wyzwalania energii atomowej na wielką skalę, a to w związku z tym, że na każdy neutron wywołujący rozszczepienie jądra powstaje dwa do trzech nowych neutronów, mogących wywołać dalsze rozszczepienia. W ten sposób przy spełnieniu pewnych warunków może zaczepić się tzw. reakcja łańcuchowa, połączona z lawinowym narastaniem liczby rozszczepiających się jąder. Zobaczymy, jakiego to rodzaju warunki muszą być spełnione.

Jeżeli chodzi o uran, musimy rozpatrzyć oddzielnie dwa izotopy: uran 238 i uran 235; weźmiemy najpierw pod uwagę uran 235. Jądro tego uranu ulega pęknięciu pod działaniem neutronów o dowolnie małej energii, a więc wszystkie neutrony wyrzucane przy pęknięciu tego jądra mogą wywołać pęknięcia dalszych jąder. W bryle czystego uranu 235 rozwinąć się zatem może w zasadzie reakcja łańcuchowa. Ponadto uran 235 w przeciwieństwie do uranu 238 nie wykazuje pochłaniania neutronów rezonansowego czyli takiego, które nie wywołuje pęknięcia powstającego jądra złożonego, a tylko jego sztuczną promieniotwórczość.

Nie wszystkie neutrony wyrzucone przy pęknięciu jądra U^{235} wywołują jednak od razu pęknięcia dalszych jego jąder — mogą one ulec po drodze zderzeniom bądź sprężystym, bądź niesprężystym z jądrami uranu, gdyż na ogół przy zderzeniu neutronu z jądrem istnieje tylko pewne prawdopodobieństwo — nie pewność — wchłonięcia jego przez to jądro.

Dla uproszczenia nie bierzmy na razie pod uwagę dyfuzji neutronów, powodującej uchodzenie części neutronów na zewnątrz bryły uranu, i rozpatrujmy reakcję łańcuchową tak, jak gdyby bryła uranu była nieograniczona. Przypuśćmy, że mamy N jąder uranu 235 na cm³, ich przekrój czynny na rozszczepienie się niech będzie σ_f (fission). Neutron, biegnący ze średnią prędkością v, w ciągu czasu dt przebywa drogę vdt. Na cm² warstwy uranu o grubości vdt. suma przekrojów czynnych jąder uranu na rozszczepienie jest $N\sigma_f vdt$; jest to równocześnie stosownie do definicji przekroju czynnego prawdopodobieństwo, że neutron na drodze vdt, czyli w czasie dt, wywoła rozszczepienie. Oznaczmy liczbę neutronów w bryle uranu chwili t przez n; w takim razie w czasie dt nastąpi $nN\sigma_f vdt$ pęknięć jąder. Tyle zatem neutronów ubywa w czasie dt; jeśli na każde pęknięcie powstaje ν nowych neutronów, to całkowity przyrost liczby neutronów w czasie dt wyniesie:

$$dn = n N\sigma_f v(\nu - 1)\, dt.$$

Niech $N\sigma_f v\,(\nu - 1) = \frac{1}{\tau}$; mamy wówczas $\frac{dn}{n} = \frac{dt}{\tau}$, skąd po scałkowaniu $n = n_0 e^{t/\tau}$; n_0 oznacza liczbę neutronów w chwili $t = 0$.

Jak widać z powyższego wzoru, τ oznaczą przeciętny czas, w ciągu którego liczba neutronów wzrasta e-krotnie; ponieważ przy każdym pęknięciu powstaje zamiast jednego neutronu 2 do 3 nowych, jest to zgrubsza średni czas życia jednej generacji neutronów od jej wyrzucenia z jąder pękniętych do wchłonięcia przez inne jądra. Metaliczny uran (gęstość 18,7 g/cm³) zawiera $N = 4{,}7.10^{22}$ jąder na cm³, dla neutronów o energii 1 MeV mamy dla uranu 235 $\sigma_f = 2{,}4.10^{-24}$ cm², oraz $v = 1{,}4.10^9$ cm/sek; połóżymy wreszcie $\nu = 2{,}5$. Znajdziemy wówczas $1/\tau = 2{,}4 \,.\, 10^8$ sek^{-1}.

Weźmy pod uwagę bryłę uranu 235 objętości 1000 cm³; zawiera ona $N = 4{,}7.10^{25}$ jąder. Jeśli założymy, że $n = 1$, a więc że początkowo użyliśmy jednego tylko neutronu do zapoczątkowania reakcji, to liczba neutronów dorówna liczbie jąder po czasie t danym przez wzór:

$$t = \frac{\log N \,.\, \tau}{\log e} = 2{,}6 \,.\, 10^{-7} \text{ sek.}$$

Jak widać, reakcja zachodzi w sposób wybuchowy i to gwałtownie wybuchowy; całkowity jej przebieg wymaga około 60 generacyj neutronów.

W rzeczywistości czas t będzie dłuższy, ze względu zwłaszcza na uchodzenie neutronów na zewnątrz i na to, że w miarę postępowania reakcji liczba jąder nierozszczepionych maleje. Jednak i przy uwzględnieniu tych wpływów reakcja przebiega w czasie rzędu 10^{-6} sekundy.

Zobaczymy teraz, jaki wpływ będzie miało uchodzenie neutronów na zewnątrz; te neutrony uchodzące są, oczywiście, stracone dla dalszego narastania liczby pękniętych jąder. Uchodzenie to ma charakter dyfuzji neutronów na zewnątrz, a zatem oprzeć się musimy na równaniu dyfuzji, uzupełnionym przez wyraz uwzględniający narastanie liczby neutronów wskutek pękania jąder. Oznaczmy przez ϱ gęstość neutronów w danym punkcie, a przez D ich współczynnik dyfuzji; wspomniane równanie ma postać:

$$\frac{\partial \varrho}{\partial t} = D\left(\frac{\partial^2 \varrho}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varrho}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varrho}{\partial z^2}\right) + \frac{\varrho}{\tau}.$$

Współczynnik dyfuzji neutronów D wyraża się, jak uczy teoria kinetyczna gazów, wzorem $\frac{1}{3}\, vl$, gdzie l oznacza drogę swobodną neutronu (neutrony poruszają się w ciałach stałych równie swobodnie, jak w gazach). Otóż droga swobodna z kolei dana jest przez wyrażenie $1/N\sigma_s$, gdzie N oznacza znów liczbę jąder uranu na 1 cm³, σ_s zaś przekrój czynny jądra uranu na zderzenie sprężyste z neutronem, czyli tzw. przekrój czynny na rozproszenie neutronu. (Analogicznie do poprzednich wywodów można powiedzieć, że $N\sigma_s$ oznacza prawdopodobieństwo, iż neutron dozna zderzenia na drodze 1 cm; na swej drodze swobodnej doznaje on zderzenia takiego na pewno, stąd jej wartość równa $1/N\sigma_s$). Tak więc ostatecznie:

$$D = \frac{v}{3\, N\, \sigma_s}\,.$$

Średni przekrój czynny jąder uranu na rozproszenie sprężyste neutronów wynosi, jak wynika z danych doświadczalnych, około 6.10^{-24}cm². Droga swobodna neutronu na rozproszenie wynosi w tych warunkach 3,6 cm. Prędkość neutronów $v = 1{,}4.10^9$ cm/sek,. a zatem $D = 1{,}7.10^9$ cm²/sek. Załóżmy, że uran 235 stanowi kulę o promieniu R, w której środku w chwili $t = 0$ znajduje się jeden neutron. Odpowiednia całka naszego równania różniczkowego ma postać:

$$\varrho(r, t) = \frac{1}{(4\tau\, Dt)^{3/2}} \cdot e^{-r^2/Dt + t/\tau},$$

gdzie $\varrho\,(r, t)$ oznacza gęstość neutronów w chwili t w odległości r od środka kuli. W chwili t we wnętrzu kuli uranowej mamy n neutronów, przy czym

$$n = 4\tau \int_0^R \varrho r^2\, dr = \frac{4}{\sqrt{\pi}}\, e^{t/\tau} \int_0^{R/2\sqrt{Dt}} x^2 e^{-x^2} dx.$$

Wyraz całkowy maleje ze wzrostem t, wyraz wykładniczy natomiast rośnie. Gdy R jest bardzo małe, dla małych t przeważa spadek wartości wyrazu całkowego i liczba neutronów spada poniżej $n = 1$, co oznacza urwanie się reakcji łańcuchowej. Mówiąc bardziej poglądowo, zbyt duży ułamek neutronów uchodzi przez powierzchnię kuli na zewnątrz, tak że z drugiej generacji neutronów nie pozostaje już średnio nawet jeden neutron do wywołania dalszych roz-

szczepień jąder. Ze wzrostem R sytuacja się zmienia. Liczba uchodzących na zewnątrz neutronów rośnie jak powierzchnia kuli, a więc jak kwadrat promienia, lecz liczba rozszczepień jąder rośnie jak objętość kuli, a więc jak sześcian promienia. Wobec tego w miarę wzrostu rozmiarów kuli wpływ dyfuzji staje się coraz mniejszy i wreszcie przy przekroczeniu pewnej granicznej wartości promienia zaczepia się reakcja łańcuchowa, czyli następuje wybuch. Znajdźmy warunek na minimum n; warunek ten jest $\frac{dn}{dt} = 0$.

Jak pokazuje dość proste przeliczenie, warunek ten można napisać w postaci:

$$\frac{R^2}{2\,D\tau} = f(z) = \frac{2\,z^5\,\Phi'(z)}{\Phi(z) - z\,\Phi'(z)}.$$

gdzie $z = \frac{R}{2\sqrt{Dt}}$, $\Phi(z) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^z e^{-x^2} dx$ (funkcja Gaussa), $\Phi'(z)$ zaś oznacza pierwszą pochodną funkcji $\Phi(z)$. Można się przekonać, że dla $z = 0$ i $z \to \infty$ mamy $f(z) = 0$, oraz, że $f(z)$ osiąga swą maksymalną wartość 2,35 dla $z = 1{,}6$. Jeśli więc będzie spełniony warunek $\frac{R^2}{2\,D\tau} > 2{,}35$, wówczas nie może być nigdy $\frac{dn}{dt} = 0$, a więc mamy stały wzrost n, czyli reakcja ma przebieg łańcuchowy. Warunek powyższy daje $R^2 > 4{,}7\,D\tau$. Podstawiając znalezione poprzednio wartości na D i τ, znajdujemy $R > 6{,}9$ cm.

Kula uranowa o promieniu krytycznym 6,9 cm waży około 27,4 kg. Bryła uranu 235 o mniejszych rozmiarach nie wybuchnie zatem w ogóle, nie rozwinie się w niej reakcja łańcuchowa; bryła większa natomiast wybuchnie samorzutnie, gdyż w jej wnętrzu zawsze znajdą się neutrony z samorzutnego pękania jąder; wytwarzać się ich będzie ponad tysiąc na sekundę w bryle o rozmiarach krytycznych. Należy tu zauważyć, że wartości przekrojów czynnych, na których opieraliśmy się, są nader niedokładne, obciążone błędem, mogącym sięgać 20% (dokładne wartości, którymi rozporządzają dzisiaj fizycy amerykańscy, nie zostały opublikowane). Oznacza to, że i wartość promienia krytycznego obciążona jest błędem tegoż rzędu, a więc w rzeczywistości leży między 5,5 cm a 8,3 cm. Tak więc masa kuli krytycznej z uranu 235 wypadnie gdzieś pomiędzy 13,7 a 47,4 kg.

28. Bomba atomowa.

Tak więc konstrukcja bomby uranowej jest w zasadzie bardzo prosta: wystarczy mieć dwa kawałki uranu, z których każdy ma rozmiary mniejsze od krytycznych, lecz takie, że po złożeniu ich razem otrzymamy bryłę o wymiarach większych od krytycznych. Wystarczy wówczas złożyć te dwie części bomby razem, by nastąpił natychmiast wybuch. Sprawa nie wygląda jednak tak prosto w praktyce: składanie musi odbywać się bardzo szybko, gdyż reakcja łańcuchowa rozpoczyna się już przed bezpośrednim zetknięciem się obu odłamków. Wystarczy tylko zbliżyć je do siebie, a już wytwarza się dostateczne zagęszczenie neutronów do zaczepienia reakcji wybuchowej. W miarę postępowania naprzód reakcji wywiązują się duże ilości ciepła i w przestrzeni pomiędzy częściami bryły uranu wytwarza się duże ciśnienie, przeciwdziałające zbliżaniu się odłamków. W tych warunkach reakcja nie przebiegnie do końca — nastąpi przedwczesne rozsadzenie bomby i drobna tylko część energii rozporządzalnej zostanie wykorzystana. Czas składania bomby musi być porównywalny z czasem wybuchu, a więc musi być rzędu najwyżej kilku milionowych sekundy. Zagadnienie takiego składania obu części bomby, by uzyskać korzystną sprawność, (jak można sądzić z opublikowanych danych, rzędu 10—20% możliwej do uzyskania energii), okazało się jednym z najtrudniejszych do rozwiązania w całym problemie bomby atomowej i ono właściwie stanowi główną tajemnicę bomby. Wiadomo tylko, że właściwa bomba „opakowana" jest masywną osłoną (w bezpośrednim sąsiedztwie uranu jest warstwa grafitu, następnie np. stal) rozpraszającą wstecz znaczną część neutronów uchodzących na zewnątrz i hamującą po prostu przez swą masę szybkość rozsadzenia bomby i rozrzucenia jej materiału na boki. Otoczka z grafitu pozwala jeszcze znacznie obniżyć krytyczne rozmiary bryły uranu 235. Można przypuszczać, że krytyczna masa uranu 235 jest rzędu 10 kg.

Bomby użyte w praktyce dały każda wyładowania energii takiego rzędu, jak około 21 tysięcy ton TNT.

Efekt bomby jest wieloraki. Przede wszystkim w samej bombie i opakowaniu wytwarza się w chwili wybuchu temperatura rzędu dziesiątków milionów stopni, co powoduje powstanie ciśnienia (sumy ciśnienia rozżarzonego gazu i ciśnienia promieniowania) rzędu również dziesiątków milionów atmosfer. W związku z tym wytwarza się niesłychanie silne promieniowanie, obejmujące głównie promienie X, bardzo dużo promieni γ, światła i promieniowania cieplnego. Dla porównania przypomnimy, że temperatura powierzchni słońca sięga zaledwie 6 000°. Nic też dziwnego, że w pierwszej chwili wybuchu bomby atomowej światło jest niesłychanie jaskrawe. Podmuch jest bardzo silny w promieniu paruset metrów od bomby, ale już w odległości kilku kilometrów przestaje być groźny. W promieniu paru kilometrów występują bardzo intensywne choć krótkotrwałe działania cieplne, śmiertelne w promieniu około 500 metrów. Trzeba dalej pamiętać, że chmura gazu, w którą przetwarza się uran, zawiera ciała o bardzo intensywnej promieniotwórczości: jeśli założymy, że rozszczepieniu w czasie wybuchu bomby ulegają jądra około 1,5 kg uranu, to natężenie promieni β i γ w chmurze gazu po wybuchu dorównywa natężeniu promieniowania, jakie dałoby paręset ton radu. Promienie β działają w samej chmurze, która ulega stopniowemu rozproszeniu na coraz dalsze odległości i powoduje „zakażenie" promieniotwórcze; promienie γ są dość silnie pochłaniane w atmosferze i działają w obrębie około 1 kilometra poza chmurą. Promieniowania te przy dużym natężeniu są śmiertelne, przy stosunkowo słabszym — wywołują bardzo poważne obrażenia, wyrażające się zniszczeniem czerwonych i białych ciałek krwi i śmiercią w czasie paru tygodni. W jeszcze dalszym zasięgu promienie γ mogą wywołać zniszczenie komórek rozrodczych i sterylizację. Wreszcie w samej chmurze i w jej otoczeniu mamy stosunkowo bardzo duże ilości neutronów, które działają na komórki jeszcze intensywniej niż promienie β czy γ i wywierają podobne skutki.

Doświadczenia przeprowadzone w atolu Bikini wykazały, że w promieniu około 1 500 m od miejsca wybuchu bomby załogi okrętów dzisiejszej konstrukcji byłyby wybite lub śmiertelnie porażone. Bomba, która wybuchła pod wodą, wywołała promieniotwórcze zakażenie wody w atolu na dużym obszarze wskutek tego, że wyrzuciła ona słup wody średnicy 500 m na wysokość około 5 km, a woda w tym słupie zawierała wszystkie produkty pękania jąder uranu, była więc silnie promieniotwórcza.

29. Rozdzielanie izotopów uranu na skalę techniczną.

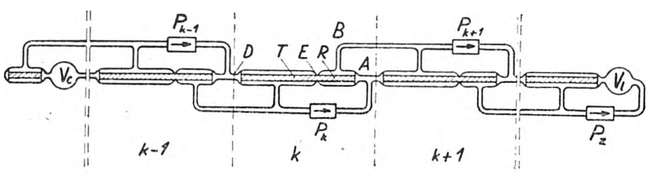
Budowa bomby uranowej wymagała przede wszystkim wydzielenia czystego uranu 235 i to w ilościach dziesiątków kilogramów. Należy więc omówić krótko sprawę rozdzielania izotopów uranu na skalę techniczną.

Rozdzielenie izotopów nawet na skalę laboratoryjną jest na ogół sprawą trudną. Zasadniczo wystarczy oprzeć się na jakimkolwiek zjawisku fizycznym, którego przebieg zależy od mas atomów. Zjawiskiem tego rodzaju, znanym od dawna, jest dyfuzja gazów poprzez porowate ścianki, bądź też ich wypływ przez bardzo wąskie otwory. Jeśli mamy do czynienia z dwoma gazami o ciężarach cząsteczkowych M_1 i M_2, to ilości tych gazów, dyfundujące w tych samych warunkach i w tych samych odstępach czasu poprzez tę samą ściankę porowatą, mają się do siebie, jak $\sqrt{M_2} : \sqrt{M_1}$, a więc są odwrotnie proporcjonalne do pierwiastków kwadratowych z ciężarów cząsteczkowych; gaz o mniejszej masie cząsteczki dyfunduje szybciej. Izotopy zachowują się jak odrębne gazy; mieszanina izotopów zachowuje się tak, jak mieszanina gazów. Wynika stąd od razu, że przez dyfuzję, a zwłaszcza przez frakcjonowaną dyfuzję, można w zasadzie rozdzielić izotopowe składniki gazu.

Metodę dyfuzyjną rozdzielania izotopów opracował na kilka lat przed wojną niemiecki fizyko-chemik Hertz; zasadę działania urządzenia Hertza przedstawia rys. 12.

Urządzenie to składa się z szeregu elementów; na rysunku widzimy trzy takie sąsiadujące z sobą elementy. Zasadniczą część każdego z nich stanowi rurka z niewypalonej gliny, złożona z dwu części T i R wtopionych w rurki szklane. Gaz rozdzielany płynie od A do D; przez ścianki rurki R

dyfunduje ułamek f gazu, bogatszy w lżejszy izotop; pompa p_{k+1} odciąga go w prawo i wprowadzą ponownie w obieg w prawym elemencie ($k + 1$)-wszym, przez który płynie gaz o większej zawartości lekkiego izotopu. Gaz dyfundujący przez ścianki rurki T ma skład mniej więcej taki, jak w punkcie A; pompa p_k odciąga go w prawo i wprowadza w obieg ponownie w punkcie A. Z punktu D do elementu ($k - 1$)-wszego, wypływa zatem gaz wzbogacony w cięższy izotop. Końcowy element ze strony prawej zaopatrzony jest w zbiornik V^l do którego stale napływa gaz wzbogacony w izotop lżejszy, a z którego odpływa w lewo gaz bogatszy



Rys. 12. Rozdzielanie izotopów metodą dyfuzyjną.

w izotop cięższy, tak że z biegiem czasu koncentruje się tam coraz czystszy lżejszy izotop. Cięższy izotop zbiera się z lewej strony w naczyniu V_c; tyleż gazu ile wpływa dyfunduje przez ścianki rurki z lewej strony i dostaje się do elementu rozdzielczego ze strony prawej.

Urządzenie tego rodzaju nazywamy kaskadowym; zawierać ono może dowolną liczbę elementów; sam Hertz używał 24 członów.

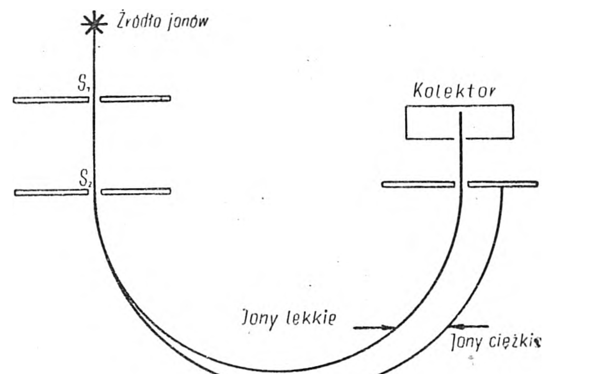
W Stanach Zjednoczonych do rozdzielania izotopów uranu na wielką skalę zastosowano również urządzenie kaskadowe typu dyfuzyjnego. W tym celu użyto gazowego związku uranu, sześciofluorku uranu; fluor ma tę zaletę, że nie posiada izotopów, a więc nie powstają przez to dodatkowe komplikacje. Temperatura wrzenia UF_6 pod ciśnieniem normalnym wynosi 59,2°, a więc łatwo można go utrzymywać w stanie gazowym. Stosunek ciężarów atomowych $U^{238}F_6$ i $U^{235}F_6$ jest niekorzystny, wynosi bowiem $\frac{352}{349}$ czyli jest bardzo bliski jedności. Współczynnik rozdzielczy $\alpha = \sqrt{\frac{M_2}{M_1}}$ wynosi dla sześciofluorku uranu zaledwie 1,004 Pociąga to za sobą konieczność użycia bardzo dużej liczby członów rozdzielczych. Liczba członów zastosowanych w praktyce sięgała kilku tysięcy; ogólna powierzchnia porowatych ścianek dyfuzyjnych sięgała wielu hektarów. Materiał tych ścianek wymagał specjalnych studiów — chodziło o to, by pory nie ulegały łatwo zatkaniu i by ścianka wytrzymywała różnicę ciśnienia bliską jednej atmosfery — gaz dyfundował z przestrzeni o ciśnieniu 1 atmosfery do przestrzeni o ciśnieniu 0,1 atmosfery. Należało również zbudować kilka tysięcy pomocniczych pomp różnych wymiarów do podtrzymywania obiegu gazu w aparaturze rozdzielczej. Wielka rozdzielnia dyfuzyjna izotopów uranu pracuje obecnie w Clinton (stan Tennessee), korzystając z energii dostarczanej przez wielkie elektrownie wodne na rzece Tennessee.

Inna metoda, użyta w Stanach Zjednoczonych na wielką skalę do wydzielania czystego uranu 235, to zastosowanie uproszczonego spektrografu masowego. Spektrograf masowy w zasadzie pozwala rozdzielić izotopy pierwiastków i otrzymywać je w stanie czystym. Właśnie przy użyciu spektrografu masowego o nieco zmodyfikowanej konstrukcji Nier, fizyk amerykański, w roku 1940 otrzymał bardzo drobne ilości (ułamki mikrograma) czystego uranu 238 i pokazał, że jądra jego rozszczepiają się jedynie pod działaniem szybkich neutronów. Do rozdzielania izotopów wystarczy bardzo uproszczona konstrukcja spektrografu masowego, pokazana schematycznie na rys 13. Silne pole magnetyczne zakrzywia tory dodatnich jonów, przy czym promień opisywanego przez jony koła zależy od wartości stosunku q/m (ładunku do masy) jonu. Jony lżejszego izotopu opisują koła o mniejszym promieniu i można je zebrać w odpowiednim kolektorze.

Użycie tej metody na wielką skalę wymagało pokonania szeregu trudności technicznych. Należało przede wszystkim uzyskać możliwie wydajne źródło jonów, a następnie dać taki układ i takie szerokości szczelin separatora elektromagnetycznego, by uzyskać duże natężenie wiązek jonów, a równocześnie niezachodzenie poszczególnych wiązek izotopowych jednych na drugie. Chodzi o to, że tory jonów wybiegających ze szczeliny pod różnymi kątami przecinają się ze sobą w przybliżeniu dopiero po zatoczeniu półkola, przy czym obszar przecinania się torów jest tym większy, im bardziej rozbieżne są ich wiązki; obszary te dla jonów o różnych wartościach q/m nie mogą zachodzić na siebie.

W pracowni fizycznej uniwersytetu w Berkeley wypracowano zadowalający typ technicznego elektromagnetycznego separatora, tzw. „kalutron" (skrót od **Cali**fornia **Uni**versity Cyclo**tron**), korzystając z elektromagnesu zdemontowanego cyklotronu. Wielka elektromagnetyczna rozdzielnia izotopów uranu powstała również w Clinton w 1943 r. Wymagała ona zainstalowania wielu setek, a nawet tysięcy kalutronów odpowiednio zgrupowanych dla kontroli działania, przy czym w miarę postępów budowy fabryki wypracowano i udoskonalono bardzo wiele szczegółów technicznych. Elektromagnetyczna rozdzielnia była pierwszą, która dostarczyła większych ilości czystego U^{235}.

Inna jeszcze, w zasadzie najbardziej wydajna, metoda rozdzielania izotopów polega na wykorzystaniu zjawiska tzw. termodyfuzji. Zjawisko to, przewidziane teoretycznie już w 1917 r. przez Enskoga i Chapmana, polega na tym, że jeśli w mieszaninie dwu gazów wytworzymy różnicę



Rys. 13. Rozdzielanie izotopów za pomocą spektrografu masowego.

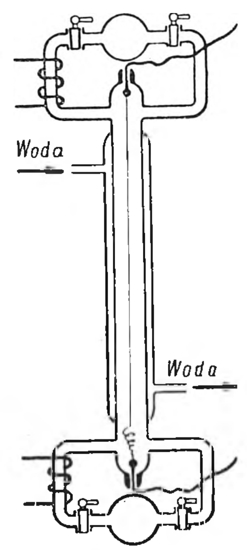
temperatury, wówczas powstanie różnica stężeń składników w obszarach o różnych temperaturach. Na ogół w obszarach o temperaturze wyższej wytworzy się zwiększone stężenie lżejszego składnika, w obszarach o temperaturze niższej skupiać się będzie natomiast składnik cięższy. Różnica stężeń zależy od wartości gradientu temperatury i od rodzaju gazów.

W roku 1938 zjawisko termodyfuzji zostało w bardzo dowcipny sposób zastosowane przez fizyków niemieckich, Clusiusa i Dickela, do rozdzielania izotopów. Urządzenie ich, tzw. termodyfuzyjną kolumnę rozdzielczą, przedstawia schematycznie rys. 14. Widzimy tu rurę dużej wysokości i stosunkowo małej średnicy (średnica rzędu 1 cm, długość sięga 30 metrów; wzdłuż rury rozpięty jest drut żarzony prądem, ścianki rury otoczone są metalowym płaszczem, chłodzonym przez przepływ wody. Wzdłuż drutu, w obszarze o wyższej temperaturze, skupia się pewna stosunkowa nadwyżka lżejszego izotopu; nadwyżka cięższego gromadzi się u ścianek rury. Dowcip urządzenia Clusiusa i Dickela polega na wykorzystywaniu konwekcji, która powoduje prąd lżejszego gazu wzdłuż drutu ku górze, u ścianek zaś — prąd cięższego gazu ku dołowi. W ten sposób łączne działanie termodyfuzji i konwekcji powoduje coraz dalej postępujące rozdzielenie izotopów; po pewnym czasie osiąga się niemal całkowite rozdzielenie. Ciężki gaz zmuszamy do konwekcyjnego krążenia poprzez zbiornik na dole przy pomocy nagrzania jednej z rurek bocznych (widocznych na rysunku) prądem przez uzwojenie pomocnicze. Po pewnym czasie zamykamy kurki i usuwamy nagromadzony ciężki gaz z naczynia. W podobny sposób można usuwać lekki gaz z analogicznego naczynia w górnej części kolumny.

W Stanach Zjednoczonych zastosowano również i termodyfuzję na wielką skalę do rozdzielania izotopów uranu;

kolumny termodyfuzyjne dostarczały częściowo już rozdzielonego materiału separatorom elektromagnetycznym do ostatecznego rozdzielenia.

Jeśli chodzi o rozdzielanie izotopów, wyjątkowe stanowisko zajmuje ciężki wodór. Stosunek mas ciężkiego i lekkiego wodoru jest równy niemal 2, a więc ma wartość wyjątkowo dużą. Powoduje to, jak już wspomnieliśmy, anormalnie dużą różnicę własności fizycznych deuteru i wodoru, tak że ich rozdzielenie jest stosunkowo o wiele łatwiejsze niż rozdzielenie innych izotopów. Tak więc można wzbogacić zwykłą wodę H_2O w ciężką wodę D_2O zawartą w niej normalnie w bardzo drobnych ilościach (1 na 5000) przez zwykłą elektrolizę. W czasie elektrolizy zwykła woda ulega rozkładowi w znacznie większym stopniu niż ciężka, tak że gdy np. poddamy elektrolizie 20 litrów wody i będziemy prowadzić elektrolizę tak długo, póki nie pozostanie tylko 2 litry, pozostałość ta zawiera już 0,12% D_2O. Przez dalszą elektrolizę można otrzymać praktycznie czystą ciężką wodę. Bardzo dogodnym surowcem dla uzyskiwania ciężkiej wody jest woda z długo używanych akumulatorów. W akumulatorach w czasie ładowania zawsze następuje elektroliza wody i pozostająca w nich woda ulega z biegiem czasu wskutek tego systematycznemu wzbogaceniu w D_2O, zwłaszcza, jeśli długo nie była zmieniana. Dlatego też w ostatnich latach przed wojną głównym źródłem ciężkiej wody były wielkie zakłady hydroelektryczne w Riukan w Norwegii, rozporządzające dużymi zapasami wody z akumulatorów. Ciężkiej wody z Riukan chcieli użyć Niemcy dla swych prac nad bombą atomową; jednak desantom powietrznym angielskim udało się zniszczyć te zapasy gotowej ciężkiej wody .



Rys. 14. Kolumna termodyfuzyjna do rozdzielania izotopów.

Własności ciężkiej wody różnią się wyraźnie od własności wody zwykłej; tak więc gęstość ciężkiej wody w 20°C wynosi 1,1059, temperatura krzepnięcia 3,82, temperatura wrzenia pod ciśnieniem normalnym 101,32°. Jak zobaczymy dalej, ciężka woda wybitnie nadaje się do budowy tzw. stosów atomowych.

§ 30. Możliwości łańcuchowej reakcji pękania jąder w uranie naturalnym, uranie 238 i torze.

W bryle uranu naturalnego znajdują się również zawsze neutrony pochodzące z samorzutnego pękania jąder zwłaszcza uranu 235. Zagęszczenie neutronów tych jest o wiele mniejsze niż w bryle uranu 235, ale wystarczają one w zasadzie do zapoczątkowania reakcji łańcuchowej.

Średnia energia neutronów wyrzucanych przy pęknięciu jądra uranu wynosi nieco poniżej 1 MeV; oznacza to, że energie większości tych neutronów są nieco większe od progowej wartości energii (0,8 MeV) potrzebnej do wywołania pęknięcia jądra uranu 238*). W zasadzie więc neutrony te mogą wywołać dalsze pęknięcia nietylko jąder uranu 235, lecz i uranu 238. Jednakże przeciętny przekrój czynny jąder uranu naturalnego na pękanie pod działaniem neutronów o energii 1 MeV jest bardzo mały; według danych przytoczonych przez Bohra i Wheelera wynosi on zaledwie $0,12.10^{-24}$cm². Przekrój czynny jąder uranu naturalnego na rozpraszania neutronów jest bliski 6.10^{-24}cm², a więc jest 50 razy większy. Oznacza to, że neutron wyrzucony przy pęknięciu jądra dozna przeciętnie 50 zderzeń z jądrami uranu, zanim wywoła nowe pęknięcie. Dane doświadczalne wskazują, że znaczny procent zderzeń szybkich neutronów z ciężkimi jądrami odbywa się „niesprężyście". Znaczy to, że neutron w zderzeniu oddaje część swej energii jądru, a sam zostaje odrzucony z mniejszą energią. (Ściśle biorąc, należy uważać, że neutron zostaje wchłonięty w jądro, a następnie zostaje wyparowany naogół inny neutron z mniejszą energią).Wobec tego nawet szybki neutron będzie średnio wciąż tracić energię zderzając się z jądrami uranu 238 na swej drodze tak, że energia jego nie będzie już na ogół wystarczać na wywołanie pęknięcia jąder uranu 238 i wreszcie jeszcze przed zderzeniem się z jądrem uranu 235 spadnie do wartości bliskich energii rezonansowej 38 eV. Neutrony o takiej energii są już nie rozpraszane, lecz wiązane przez jądra U^{238} i wobec tego nie biorą udziału w rozwoju reakcji łańcuchowej.

Tak więc rozważania powyższe, które można by przeprowadzić dokładniej ilościowo, wskazują, że w uranie naturalnym nie będzie mogła rozwinąć się reakcja łańcuchowa, nawet i w dowolnie dużej bryle, ze względu na rezonansowe pochłanianie neutronów przez uran 238 i na niesprężysty na ogół charakter zderzeń szybkich neutronów z jądrami tego uranu. Tym bardziej nie może rozwinąć się reakcja łańcuchowa w bryle czystego uranu 238. Początkowe zagęszczenie neutronów z samorzutnych pęknięć jąder jest w nim o wiele mniejsze niż w uranie naturalnym; przekrój czynny jąder uranu 238 na pęknięcie pod działaniem neutronów o energii 1 MeV jest natomiast jeszcze mniejszy niż analogiczny średni przekrój czynny jąder uranu naturalnego, gdyż brak teraz domieszki jąder uranu 235 o dużym czynnym przekroju na pęknięcie. Warunki rozwinięcia się reakcji łańcuchowej są jeszcze gorsze niż w uranie naturalnym.

W bryle czystego toru reakcja łańcuchowa w ogóle nie może się rozwinąć, gdyż progowa energia neutronów wywołujących pęknięcie jądra toru wynosi 1,7 MeV, średnia zaś energia neutronów wyrzucanych przy pęknięciu wynosi zaledwie około 1 MeV.

Inaczej jednak wyglądałaby sprawa wywołania reakcji łańcuchowej w uranie naturalnym, gdybyśmy rozporządzali neutronami termicznymi. Dla neutronów tych przekrój czynny jąder uranu 235 na pęknięcie wynosi $3,5.10^{-22}$ cm², a więc jest 146 razy większy niż dla neutronów szybkich. Z drugiej strony neutrony o tak małej energii są już poza zakresem rezonansowego chwytania przez jądra uranu 238; są one wprawdzie chwytane przez te jądra, ale już ze znacznie mniejszym prawdopodobieństwem. W rezultacie, jak pokazuje obliczenie, oparte na wartościach liczbowych przekrojów czynnych znanych w roku 1939, tylko pewna część neutronów termicznych zostaje schwytana przez jądra U^{238}, pozostałe zaś wytwarzają w jądrach U^{235} dostateczną liczbę rozszczepień, by mogła rozwinąć się reakcja łańcuchowa.

Powstaje teraz, oczywiście, zagadnienie, w jaki sposób z szybkich neutronów rozszczepieniowych wytworzyć neutrony termiczne. Rozwiązanie jest proste: należy do uranu dodać w odpowiedniej proporcji ciała o odpowiednio lekkich jądrach. Wiemy (§ 11), że neutrony tracą bardzo szybko energię w zderzeniach sprężystych z lekkimi jądrami. Przekonaliśmy się już poprzednio (§ 11), że najlepiej nadawałby się do tego celu ciężki wodór, następnie hel, beryl i węgiel. Domieszka takiego moderatora pozwala zatem przetworzyć szybkie neutrony rozszczepieniowe w neutrony termiczne, te zaś mogą wywołać reakcję łańcuchową w uranie naturalnym.

Ze względów praktycznych najlepiej nadawał się na moderator czysty węgiel w postaci grafitu, jak na to wskazali pierwsi Fermi i Szilard. Chodzi o to, że moderator musi być, jak zaraz zobaczymy, użyty w wielkich ilościach i przy tym musi być wyjątkowo czysty. Uzyskanie potrzebnych ilości ciężkiego wodoru lub berylu stanowiłoby dodatkową trudność; hel występuje tylko w formie gazowej i nie daje żadnych związków. Grafit natomiast jest dostępny w dużych ilościach i z tego względu głównie nadaje się na moderator.

Już pierwsze próby pokazały, że bardzo istotną rzeczą dla możliwości rozwinięcia się reakcji łańcuchowej jest bardzo wysoki stopień czystości zarówno moderatora, jak i uranu użytego Niektóre jądra mają mianowicie wyjątkowo duże przekroje czynne na pochłanianie neutronów termicznych i nawet bardzo drobne domieszki tych jąder mogą już uniemożliwić narastanie lawiny neutronów rozszczepieniowych. W praktyce okazało się, że maksymalna dopuszczalna ilość zanieczyszczeń w uranie czy graficie

*) Ob. § 23, tabl. III.

nie może przekraczać paru dziesięciotysięcznych procentu. Wymaganie to jest źródłem znacznych dodatkowych trudności, chodzi przecież o setki ton materiałów chemicznie czystych Uzyskanie tak wielkich ilości chemicznie czystych produktów wymagało zastosowania specjalnych metod chemicznych oczyszczania.

Fermi i Szilard zaproponowali również specjalny sposób użycia moderatora. Jak wykazali oni teoretycznie, najkorzystniej jest nie mieszać poprostu moderatora z uranem, lecz porozmieszczać odpowiedniego kształtu bryły uranu w czystym moderatorze w stosownie dobranych odstępach. Jeżeli chcemy możliwie najlepiej wykorzystać rozszczepianie jąder uranu 235 przez neutrony termiczne, należy bryły uranu rozmieszczać w taki sposób, by neutrony pochodzące z jednej z nich traciły na drodze do drugiej całą niemal swą energię przez zderzenia z jądrami węgla, tak by do sąsiedniej bryły uranu dochodziły średnio neutrony termiczne. Zwykle jednak w rozmieszczeniu brył uranu w graficie kierowano się nieco innymi względami: chodziło mianowicie o to, by nie tylko spowodować reakcję łańcuchową, lecz i rezonansowe chwytanie części neutronów przez jądra uranu 238.

§ 31. Stos atomowy.

Jak już wiemy, jądra U^{238} po schwytaniu neutronu podlegają dwu kolejnym przemianom promieniotwórczym β— przechodząc w jądra plutonu Pu^{239}_{94}. Zarówno pluton, jak i neptun, jego poprzednik w tablicy układu naturalnego pierwiastków, wykryte zostały i zbadane w toku prac amerykańskich badaczy nad budową bomby atomowej. Prawdziwym triumfem chemii było dokładne ustalenie własności plutonu na podstawie próbki o masie 0,5 mg, otrzymanej przez długotrwałe bombardowanie paruset kilogramów azotanu uranylu neutronami, dawanymi przez wielki cyklotron w Berkeley. Pierwszym izotopem plutonu otrzymanym przy użyciu cyklotronu był jednak Pu^{238}_{94}, uzyskiwany przez reakcję:

$$U^{238}_{92} + D^2_1 \rightarrow Np^{238}_{93} + 2\,n^1_0,$$

oraz rozpad promieniotwórczy neptunu:

$$Np^{238}_{93} \rightarrow Pu^{238}_{94} + e^0_{-1}.$$

Pu^{238}_{94} jest ciałem promieniotwórczym wysyłającym promienie α z okresem połowicznego rozpadu 50 lat. Badania nad tym plutonem doprowadziły do wypracowania metod oddzielania chemicznego plutonu od uranu na skalę techniczną. Zastosowano je od razu na taką skalę z pełnym powodzeniem.

Układ przestrzenny grafitowo-uranowy nazywamy stosem. Pierwszym celem budowy stosów atomowych było wytworzenie plutonu jako produktu ubocznego reakcji rozszczepiania jąder uranu 235. Uzyskiwanie plutonu było ważne ze względu na to, że, jak się okazało, pluton równie dobrze, a nawet lepiej niż uran 235, nadaje się do budowy bomb atomowych. Z danych, przytoczonych w tablicy III (§ 23), wynika, że jądra plutonu ulegają rozszczepieniu pod działaniem neutronów termicznych, przy czym prawdopodobnie ich przekrój czynny na pęknięcie jest nawet nieco większy niż uranu 235, energia zaś wyzwolona przy pęknięciu jest tego samego rzędu.

Rozmiary stosów atomowych grafitowo - uranowych są bardzo duże; źródła dostępne nie podają jednak dokładnych wartości. Wiadomo tylko, że pierwszy stos, zbudowany jesienią 1942 r. i uruchomiony 2 grudnia 1942 r., zawierał około 5 ton uranu i średnica jego wynosiła prawdopodobnie około 3 metrów. Stos był postaci spłaszczonej elipsoidy; przypuszczalnie zawierał on kilkanaście ton grafitu.

W celu omówienia działania stosu atomowego prześledzimy za Smythem losy jednej generacji neutronów. Przypuśćmy, że w pewnej chwili jądra uranu w stosie wyrzuciły N neutronów. Neutrony te posiadają na ogół energię nieco powyżej progowej wartości energii, potrzebnej do rozszczepienia jądra U^{238}. Jednakże skutkiem niesprężystych zderzeń z jądrami uranu i sprężystych zderzeń z jądrami moderatora tracą one szybko energię, która spada poniżej wartości progowej. (Średnia droga swobodna neutronu pomiędzy dwoma zderzeniami z jądrem węgla wynosi 2,5 cm). W rezultacie drobna tylko część szybkich neutronów rozbija jądra uranu 238, przez co nieco wzrasta liczba neutronów. Wzrost ten charakteryzujemy przez wprowadzenie współczynnika $\varepsilon > 1$, tzw. współczynnika szybkiego rozszczepienia.

Energia $N\varepsilon$ neutronów w stosie maleje dalej przeważnie skutkiem zderzeń sprężystych z jądrami moderatora. W ten sposób neutrony znajdą się wreszcie w strefie energetycznej silnego rezonansowego wiązania przez jądra uranu 238. Wpływ tego wiązania uwzględnimy, wprowadzając współczynnik $p < 1$, równy prawdopodobieństwu uniknięcia przez neutron rezonansowego związania. Strefę energii termicznej osięgnie zatem tylko $N\varepsilon p$ neutronów.

Neutrony termiczne mogą być pochłaniane przez jądra moderatora, przez jądra materiałów urządzeń pomocniczych i wreszcie przez jądra ciała chłodzącego, o którym będzie mowa niżej. Wszystkie te pochłonięte neutrony są stracone dla reakcji łańcuchowej. Wobec tego tylko pewien ułamek neutronów termicznych bywa wchłonięty przez jądra uranu 235; ułamek ten oznaczymy przez f; jest to tzw. współczynnik wykorzystania neutronów termicznych. Ogółem więc wchłonięciu przez jądra U^{235} ulega $N\varepsilon pf$ neutronów.

Na każdy pochłonięty neutron przypada η nowych neutronów, wyzwolonych przez rozszczepione jądro (należy tu zauważyć, że w rzeczywistości nie każde wchłonięcie neutronu przez jądro U^{235} prowadzi do jego rozszczepienia, tak że η jest mniejsza od liczby ν neutronów, przypadających na jedno rozszczepienie). Jeśli teraz $N\varepsilon pf\eta$ jest większe od N, może się rozwinąć reakcja łańcuchowa; będzie to jednak słuszne tylko dla nieskończenie wielkiego stosu atomowego. Iloczyn $\varepsilon pf\eta$ będziemy oznaczać symbolem $k\infty$; jest to tzw. współczynnik rozmnożenia neutronów dla nieskończenie wielkiego stosu.

W stosie rozmiarów skończonych gra dużą rolę dyfuzja neutronów i uchodzenie ich na zewnątrz, podobnie jak to widzieliśmy przy rozpatrywaniu mechanizmu bomby atomowej. Tak więc dla takiego stosu skończonych rozmiarów mamy współczynnik rozmnożenia $k < k\infty$. Reakcja łańcuchowa rozwinie się tylko wówczas, gdy $k > 1$. Ale w miarę zwiększania rozmiarów stosu k rośnie, gdyż uchodzenie neutronów na zezwnątrz jest to efekt powierzchniowy, rosnący jak kwadrat wymiarów stosu, rozszczepianie zaś jąder uranu zachodzi w całej objętości stosu i jest proporcjonalne wobec tego do sześcianu jego rozmiarów, a zatem ze wzrostem wymiarów stosu wpływ uchodzenia neutronów na zewnątrz staje się stosunkowo coraz mniejszy. Wynika stąd, że podobnie jak dla bryły czystego uranu 235, dla każdego składu i kształtu stosu istnieje pewien wymiar krytyczny, powyżej którego powstaje reakcja łańcuchowa, a poniżej którego reakcja taka nie może się rozwinąć.

Oznaczmy średni czas życia jednej generacji neutronów przez T; jest to odpowiednik czasu τ wprowadzonego przy rozpatrywaniu reakcji łańcuchowej w bombie atomowej (§ 27). Jeśli początkową liczbę neutronów w stosie w chwili $t = 0$ oznaczymy przez N_0, to **po czasie** t, czyli po t/T generacjach, będziemy mieć $N = N_0\, k^{t/T}$ neutronów. Oczywiście, taki sposób rozpatrywania reakcji łańcuchowej w stosie jest mocno schematyzowany: trudno mówić o określonych generacjach neutronów, skoro T jest to tylko średni czas trwania jednej generacji, a wszystkie wprowadzone przez nas współczynniki charakteryzują też pewne średnie wartości. Tym nie mniej w zasadniczych zarysach obraz ten jest zgodny z rzeczywistością.

Doświadczenie pokazuje, że dla stosu o rozmiarach 2—3 razy przekraczających krytyczne i dla k bliskiego jedności wartość k bardzo mało różni się od $k\infty$, gdy stos otoczymy zzewnątrz tzw. reflektorem, a więc warstwą materiału silnie rozpraszającego neutrony i zwracającego dużą ich część wstecz, w głąb stosu. Takim reflektorem może być np. warstwa grafitu. Podobnego reflektora używa się również, jak już wspomniano wyżej (§ 28), i w bombie atomowej, przez co zmniejsza się znacznie wymiary krytyczne bomby. Tak np., jeśli reflektor odbija wstecz połowę neutronów, wywiera to taki wpływ na rozmiary krytyczne, jak gdyby współczynnik dyfuzji D stał się dwa razy mniejszy, a wobec tego krytyczny promień kulistej bomby maleje w stosunku $1 : \sqrt{2}$, czyli o 30%. Wynika stąd, że przez użycie reflektora można sprowadzić krytyczną wartość masy bomby atomowej z uranu 235 poniżej 10 kg.

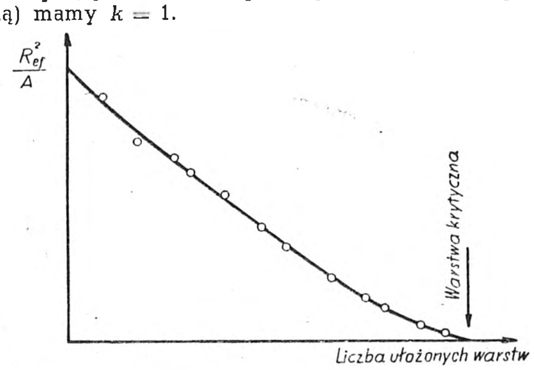
Z rozważań naszych wynika dalej, że jeśli k jest dowolnie bliskie 1, to reakcja łańcuchowa narasta dowolnie powoli; jeśli zaś mamy $k = 1$, to liczba neutronów w stosie utrzymuje się wciąż na tym samym pozomie, choć rozszczepieniu ulegają coraz dalsze jądra. Wobec tego dla $k = 1$ energia wywiązywana na sekundę przez pęknięcie jąder, czyli moc stosu, będzie mieć wartość stałą.

Wartość k ulega zmianom, a mianowicie rośnie, gdy stos budujemy stopniowo układając go warstwa po warstwie z kostek grafitowych i sztab uranowych, jak to się czyni w praktyce. Sztaby uranu rozmieszczone są przy tym w ten sposób, że można je swobodnie wyciągać ze stosu w czasie jego działania i zastępować innymi. W miarę budowy stosu stale mierzy się zagęszczenie neutronów w jego wnętrzu, co jest miarą stopnia narastania reakcji. Załóżmy dla uproszczenia, że co okres życia T jednej generacji neutronów w stosie powstaje w nim przez samorzutne pęknięcia jąder i działanie promieni kosmicznych N_0 nowych neutronów. W takim razie po upływie czasu równego sT w stosie znajdzie się $N = N_0 (1 + k + k^2 + \ldots + k^s)$ neutronów. Dla $s \rightarrow \infty$ i dla $k < 1$ mamy $N = \frac{N_0}{1-k}$. Widać stąd, że gdy k zbliża się do 1 w miarę postępu budowy stosu, N rośnie nieograniczenie. Zamiast N mierzymy gęstość neutronów w środku stosu, np. przy pomocy płytki z indu, który ma duży przekrój czynny na pochłanianie neutronów termicznych i przez pochłonięcie takiego neutronu staje się sztucznie promieniotwórczy. Natężenie tej sztucznej promieniotwórczości β^+ indu jest miarą zagęszczenia neutronów. Gęstość neutronów można również mierzyć przy pomocy licznika Geigera, zawierającego fluorek boru BF_3 (lub też komory jonizacyjnej wypełnionej BF_3). Pod wpływem neutronów termicznych zachodzi reakcja jądrowa

$$B^{10}(n, \alpha)Li^7$$

i zostają wyrzucone cząstki α, liczone przez licznik Geigera lub wywołujące jonizację w komorze. Tego rodzaju komory jonizacyjne czy liczniki mogą być użyte do uruchamiania automatycznych urządzeń regulujących moc stosu atomowego.

Dla każdego stosu atomowego można określić tzw. efektywny promień (R_{ef}) czyli promień zastępczego stosu kulistego. Teoria stosu atomowego pokazuje, że jeżeli $k_\infty = 1$, to w miarę wzrostu R_{ef} aktywność detektora indowego A rośnie proporcjonalnie do R^2_{ef}, a zatem w tym przypadku $R^2_{ef}/A =$ const. Jeśli jednak $k_\infty > 1$, to w miarę zbliżania się k do 1 przy stopniowej budowie stosu A rośnie nieograniczenie, jak widać zresztą z wyprowadzonego wyżej przybliżonego wzoru. W tym wypadku zatem $R^2_{ef}/A \rightarrow 0$ gdy $k \rightarrow 1$. Jeśli na wykresie odłożymy na osi odciętych liczbą warstw stosu, na osi zaś rzędnych R^2_{ef}/A, to w punkcie przecięcia otrzymanej krzywej z osią odciętych (w praktyce, jak to widzimy na rys. 15, znajdujemy niemal prostą) mamy $k = 1$.



Rys. 15. Krzywa kontroli budowy stosu.

W ten sposób uzyskujemy dogodną metodę kontroli budowy stosu i prawidłowości obliczeń. W pierwszym stosie, uruchomionym w Chicago, okazało się, że uzyskano $k = 1{,}0006$ już przy ułożeniu zaledwie 75% projektowanej liczby warstw.

32. Regulacja mocy stosu.

Metoda regulacji działania stosu jest bardzo prosta, a polega na wprowadzeniu do wnętrza stosu pierwiastka o dużym przekroju czynnym na pochłanianie neutronów termicznych. Do pierwiastków takich bardziej rozpowszechnionych należą bor i kadm.

Dla jąder kadmu przekrój czynny na pochłanianie neutronów termicznych wynosi $\sigma_p = 2{,}9 \cdot 10^{-21}cm^2$, dla boru zaś $\sigma_p = 5{,}1 \cdot 10^{-22}cm^2$ Są to przekroje czynne bardzo duże, a stąd wynika, że nawet niewielkie ilości boru, czy jeszcze lepiej kadmu, bardzo wyraźnie zmniejszają wartość współczynnika rozmnażania k. Przez wprowadzenie do stosu atomowego odpowiednich ilości kadmu czy boru możemy zatem sprowadzić k do pożądanej wartości. Zwykle ustala się wartość k na poziomie 1, tak by liczba neutronów znajdująca się już w stosie nie ulegała zmianie; wówczas liczba neutronów wyzwalanych na sekundę równa jest liczbie neutronów wiązanych na sekundę i moc stosu jest wobec tego stała. W praktyce osiąga się tego rodzaju regulację działania stosu przez wsuwanie płyt kadmowych do odpowiednio porozmieszczanych w stosie szczelin głębiej lub płyciej, przy czym przesuwanie płyt odbywa się automatycznie za pośrednictwem regulatorów sterowanych wskaźnikami gęstości neutronów w stosie.

Należy zwrócić tu uwagę na jeszcze jeden szczegół, dotyczący przekroju czynnego jąder uranu 235 na pęknięcie pod działaniem neutronów termicznych. Okazuje się, że przekrój ten jest odwrotnie proporcjonalny do prędkości neutronów, która z kolei jest proporcjonalna do pierwiastka z temperatury bezwzględnej stosu: $v \backsim \sqrt{T}$. A zatem, gdy temperatura stosu rośnie, przekrój czynny jąder uranu 235 na rozszczepienie przez neutrony termiczne maleje. Jeżeli jednak pochłanianie neutronów termicznych przez substancję chłodzącą, moderator i domieszki zależy od temperatury w ten sam sposób, to współczynnik f w naszym wzorze na k_∞ (§ 31) nie zależy od temperatury. Co prawda wartość k ulega zmianie, gdyż za pośrednictwem współczynnika dyfuzji D zależy ona od prędkości neutronów; a ze wzrostem temperatury szybkość dyfuzji neutronów na zewnątrz rośnie i k wobec tego maleje, jednak w dużych stosach, gdzie k jest bliskie k_∞, zmiana ta nie będzie grać większej roli.

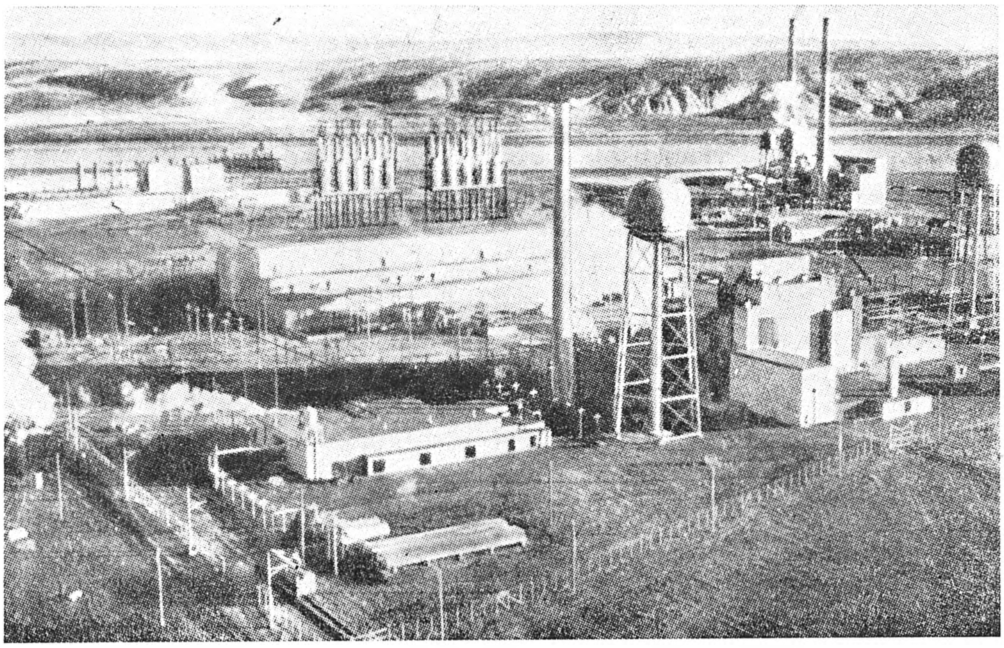
Inaczej wygląda sprawa w obecności kadmu. Kadm posiada przekrój czynny na pochłanianie neutronów termicznych niezależny od temperatury (tłumaczy się to tym, że jego poziom rezonansowy na pochłanianie neutronów leży bardzo nisko, przy energii zaledwie 0,16 eV). Wobec tego w stosie zawierającym kadm współczynnik f, a z nim i k_∞ maleje ze wzrostem temperatury, gdyż wtedy pochłanianie neutronów przez kadm gra coraz większą rolę, i wreszcie w stosie nie chłodzonym temperatura ustala się na takim poziomie, by k było równe jedności. Przez wprowadzenie zatem większych czy mniejszych ilości kadmu, czyli mniejsze lub większe wsunięcie płyt kadmowych można w zasadzie ustalić temperaturę stosu niechłodzonego na dowolnym poziomie, w stosie zaś chłodzonym o stałej temperaturze regulować dowolnie moc. Należy dodać, że stos jest bardzo wrażliwy na obecność kadmu, tak że wystarczają nieznaczne już przesunięcia płyt kadmowych.

Bardzo ważną rolę w regulacji mocy stosu gra fakt, że pewien ułamek (około 1%) neutronów, wyrzucanych przy pękaniu jąder, są to neutrony zapóźnione, przy czym zapóźnienia dochodzą nawet do minuty (średnie zapóźnienie wynosi 10 sekund). Trzeba pamiętać, że normalnie stos pracuje przy k bardzo niewiele większym od jedności; nadwyżka ponad jedność, warunkująca rozwinięcie się reakcji łańcuchowej, zależy właśnie od obecności tych neutronów zapóźnionych. Jeśli np. $k = 1{,}005$, to neutrony nie zapóźnione dają same tylko $k_p = 0{,}995$, a więc decydującą rolę grają neutrony zapóźnione. Skutkiem tego narastanie liczby neutronów odbywa się w tempie bardzo zwolnionym; tak np. zagęszczenie neutronów w pierwszym stosie w Chicago wzrastało dwukrotnie zaledwie w ciągu 4 godzin. Tak długi „czas relaksacji" jest czynnikiem bezpieczeństwa w działaniu stosu i bardzo ułatwia regulację jego mocy.

33. Wielkie stosy atomowe w Stanach Zjednoczonych.

Wielkie stosy atomowe zbudowane zostały w Hanford nad rz. Colorado w stanie Washington (rys. 16). W pierwszej połowie 1945 r. były tam czynne trzy stosy, każdy mocy około 1 500 MW. Pierwotnie planowano uruchomienie pięciu takich stosów; można przypuszczać, że obecnie wszystkie pięć stosów już pracują. Stosy były uruchomione do pro-

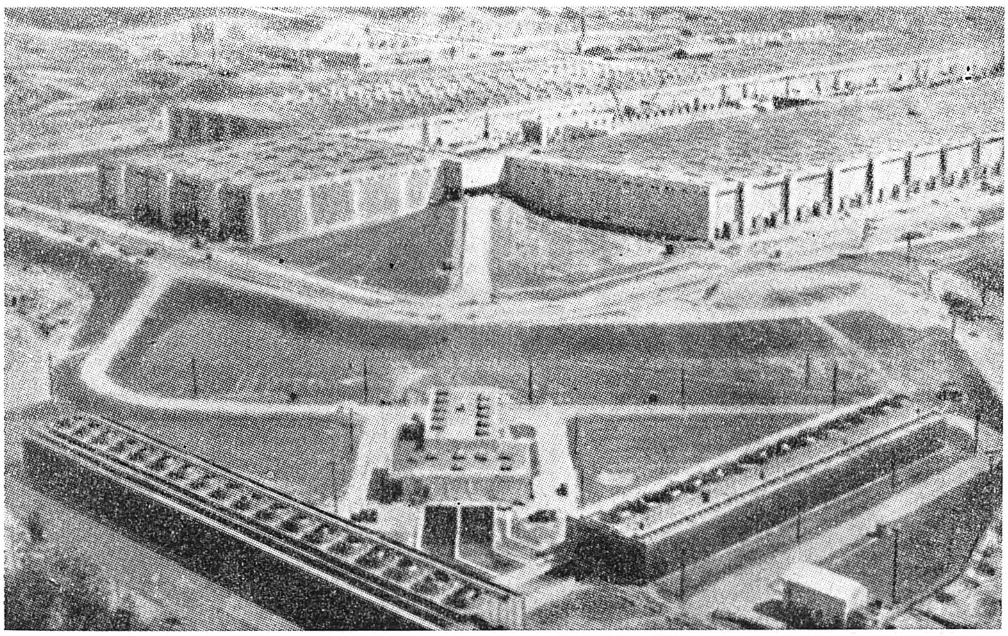
dukcji plutonu. Stos o takiej mocy daje przeszło kilogram plutonu dziennie. Tę ilość można ocenić jak następuje: na każdy pochłonięty przez uran 235 neutron termiczny zostaje wyrzuconych η nowych neutronów. Jeden z tych neutronów jest potrzebny na podtrzymanie reakcji jądrowej



Rys. 16. Zakłady w Hanford do produkcji bomb atomowych

Budowę rozpoczęto w czerwcu 1944 r., pierwszy stos uruchomiono w trzy miesiące później.

na stałym poziomie mocy, a więc na każde rozszczepienie powstaje $\eta - 1$ atomów plutonu, jeśli założymy, że wszystkie pochłaniane w stosie neutrony zostają zatrzymane w jądrach uranu 238. Na każde rozszczepienie przypada średnio energia 180 MeV, a zatem na jeden atom plutonu przypada energia $\frac{180 \mathrm{MeV}}{\eta - 1}$. W rzeczywistości liczba powstających atomów plutonu jest mniejsza, gdyż część neutronów zo-



Rys. 17. Fabryka bomb atomowych w Clinton (Oak Ridge) w stanie Tennessee (1944)

staje pochłonięta nie przez jądra uranu. Można jednak sądzić, że średnio na każde rozszczepienie powstaje jeden atom plutonu, co dawałoby moc 800 000 kW dla uzyskania 1 kg plutonu na dobę.

Tak wielkie ilości energii wydzielanej przez stos marnują się dotychczas bezużytecznie i trudność stanowi raczej sprawa ich odprowadzania. W tym celu zastosowano chłodzenie stosu wodą bieżącą. Zauważmy tu, że przed uruchomieniem stosów w Hanford zbudowano próbny stos w Clinton (rys. 17) o mocy 1 000 kW. Stos ten był chłodzony strumieniem powietrza. Co do stosów w Hanford, to w każdym z nich należało odprowadzić około 360 000 kcal na sekundę. Warunki pracy stosu, jak zobaczymy, były takie, że temperatura sztab uranowych nie mogła przekraczać 100° C; należało więc zastosować bardzo intensywne chłodzenie wodą. W stosie w Hanford, produkującym pluton, na tonę uranu przypada dziennie kilka gramów plutonu; można więc szacować, że stos zawiera przeszło 100 ton uranu. Uran musiał być rozmieszczony w stosie w taki sposób, by można było wyciągać ze stosu jego bryły zawierające dostateczne ilości plutonu i poddawać je różnym procesom chemicznym dla wydzielenia plutonu. Wobec tego do budowy stosu użyto nie brył uranu, lecz sztab uranowych. Jeśli założymy, że uran rozmieszczony jest w postaci sztab metrowej długości po 25 kg wagi (oczywiście jest to założenie dowolne, gdyż żadnych dokładniejszych danych nie ogłoszono) i że dla chłodzenia użyto wody o temperaturze 5° C, płynącej z prędkością 6 m/sek. i nagrzewającej się o 10°, to dla odprowadzenia ciepła wydzielonego w stosie należałoby użyć 160 m³ wody na sekundę. Jest to ilość bardzo duża; dodatkowe utrudnienie stanowi fakt, że uran metaliczny ulega korozji przez wodę; należało więc go pokryć warstwą materiału dobrze przewodzącego ciepło, a nie ulegającego w wodzie korozji. Materiał ten musi jednak mieć mały przekrój czynny na pochłanianie neutronów termicznych i nie ulegać łatwo reakcjom jądrowym pod działaniem promieni γ o dużym natężeniu stale obecnych w stosie. Okazało się, że do tego celu najlepiej nadaje się aluminium, jednakże i ono ulega już korozji w wodzie powyżej 100° C. Stąd konieczność utrzymywania temperatury stosów na poziomie nie przekraczającym 100° C. Również i rury, przez które płynie woda, są aluminiowe.

Woda wypływająca ze stosu jest silnie promieniotwórcza. Pod działaniem neutronów i promieni γ powstają z jąder tlenu sztucznie promieniotwórcze izotopy azotu i tlenu o krótkich czasach przepołowienia według reakcji:

$$O_8^{16}\ (n,p)\ {-N_7^{16}}\ ;\ {-N_7^{16}} \rightarrow O_8^{16} + e_{-1}^{0}\ \text{(8 sek.)}$$

$$O_8^{16}\ (\gamma,n)\ {+O_8^{15}}\ ;\ {+O_8^{15}} \rightarrow N_7^{15} + e_1^{0}\ \text{(2,1 min.)}$$

Jak widać z przytoczonych w nawiasach okresów przepołowienia tlenu i azotu o sztucznej promieniotwórczości, wystarczy odstanie się wody mniej więcej przez godzinę, by

jej sztuczna promieniotwórczość stała się już niedostrzegalną (dla wolniej znikającego tlenu o sztucznej promieniotwórczości pozostanie po tym czasie tylko $(\frac{1}{2})^{30} = 10^{-9}$ początkowej liczby atomów promieniotwórczych). Należy tu zauważyć, że powłoka aluminiowa grubości paru setnych milimetra zupełnie wystarcza, by zatrzymać promieniotwórcze odłamki rozszczepiających się jąder uranu. Natomiast sam uran sztab, znajdujących się we wnętrzu stosu, staje się skutkiem gromadzenia się w nim tych ciał bardzo silnie promieniotwórczym. Ten zanieczyszczony ciałami promieniotwórczymi uran poddaje się następnie szeregowi procesów chemicznych celem wydzielenia zeń plutonu.

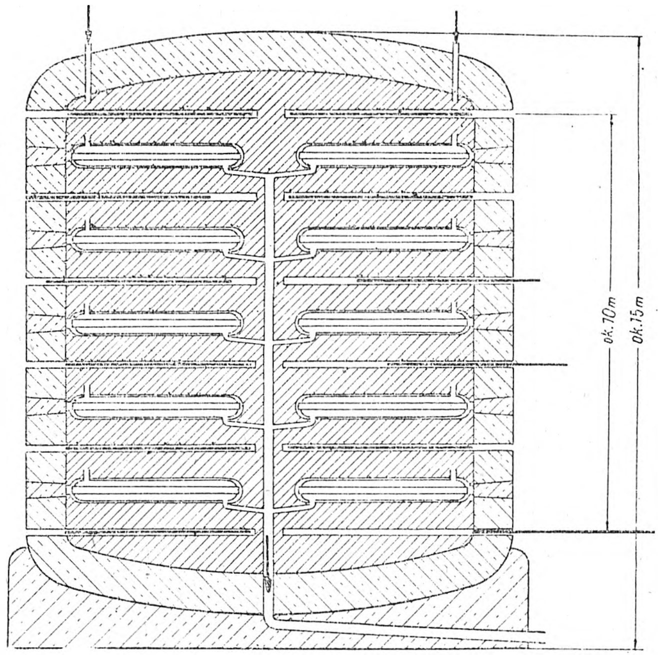
Silna promieniotwórczość materiału powoduje, że wszystkie procesy chemiczne muszą odbywać się całkowicie automatycznie w komorach osłoniętych grubymi płytami betonu i stali. Należy przy tym procesy te prowadzić w ten sposób, żeby odzyskać z powrotem czysty uran i oddzielić sztucznie promieniotwórcze produkty rozszczepiania jąder uranu; główną uwagę zwracano na promieniotwórcze pierwiastki ksenon i jod; w stosie atomowym powstaje po kilka izotopów tych pierwiastków. Najbardziej długotrwałe spośród tych izotopów mają okresy przepołowienia wynoszące po kilka dni, a wytwarza się ich, jak można przypuszczać, po kilkadziesiąt gramów na kilogram plutonu.

Prócz jodu i ksenonu powstaje, jak już wiemy, jeszcze szereg innych pierwiastków o sztucznej promieniotwórczości. Sprawa wydzielania i wyzyskania bardziej długotrwałych z nich będzie mieć niewątpliwie duże znaczenie przede wszystkim dla medycyny i biologii; umożliwi się w ten sposób przeprowadzenie szeregu badań przy użyciu „znaczonych" promieniotwórczych izotopów różnych pierwiastków. Ponad to uzyskane w ten sposób pierwiastki promieniotwórcze mogą być użyte bezpośrednio do różnych celów diagnostycznych i leczniczych.

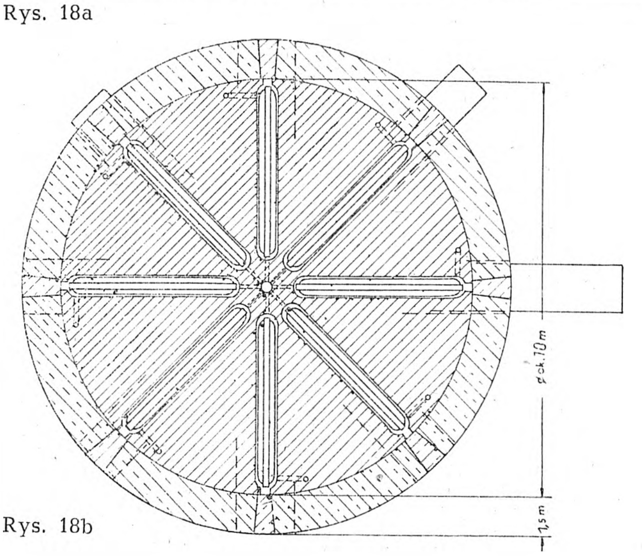
Korzystając z bardzo wielkich natężeń promieniowań neutronowego i γ, panujących we wnętrzu stosu atomowego, można przez wprowadzenie odpowiednich pierwiastków w głąb stosu uzyskiwać stosunkowo znaczne ilości ich promieniotwórczych izotopów. Izotopy te mogą znaleźć zastosowania w różnych procesach przemysłowych. Tak np. w Stanach Zjednoczonych opatentowana została niedawno bardzo dogodna metoda bieżącego określania zawartości fosforu w stali w czasie jej produkcji. Metoda ta oparta jest na dodaniu do surowca wyjściowego, zawierającego znany procent fosforu, pewnej określonej domieszki fosforu promieniotwórczego. Wystarczy wówczas określić promieniotwórczość fosforu w próbce badanej, by móc stąd odrazu określić całkowitą zawartość w niej fosforu; stosunek procentowy promieniotwórczego i zwykłego fosforu w surowcu pozostaje bez zmiany w ciągu całego procesu ze względu na identyczność własności chemicznych obu izotopów.

Podobnie dodanie do ropy poddawanej „crackingowi" określonej ilości promieniotwórczego izotopu wodoru H^3 pozwala prześledzić losy ciężkich drobin w ropie o wiele łatwiej i dokładniej, niż jakąkolwiek inną metodą. W najbliższej przyszłości należy oczekiwać zastosowania tych i podobnych metod w przemyśle na wielką skalę.

Na podstawie wyżej powiedzianego można już sobie wytworzyć pewne pojęcie o wielkim stosie atomowym. Schematyczne przekroje takiego stosu przedstawia rys. 18a i b. Jest to konstrukcja zbudowana z grafitu, zawierająca metrowe sztaby uranu w kształcie prawdopodobnie zaokrąglonych na końcach walców, zaopatrzona w szereg rur doprowadzających wodę do chłodzenia i przebita licznymi kanałami, którymi odpowiednie urządzenia automatyczne przesuwają i wysuwają sztaby uranowe oraz kontrolne płyty kadmowe. Wymiary konstrukcji są prawdopodobnie rzędu 10 metrów, tak że stos zawiera na 120 ton uranu około 2000 ton grafitu. Całość otoczona jest warstwą grafitu, a następnie grubym pancerzem ochronnym z betonu i stali (dla pochłaniania promieni i neutronów termicznych). Niezbędne jest należyte osłonięcie stosu atomowego, by chronić otoczenie przed niesłychanie intensywnym promieniowaniem neutronowym i γ. Pancerz musi być szczelny i na powietrze, albowiem atomy tlenu, azotu i argonu nabywają we wnętrzu stosu sztucznej promieniotwórczości. Dla oceny natężenia neutronów we wnętrzu stosu można przytoczyć za A.H. Comptonem, że na jednostkę mocy stos atomowy daje do 100000 razy więcej neutronów, niż najlepszy cyklotron, a moc stosu może 100 i więcej razy



Rys. 18a



Rys. 18b

Rys. 18a i 18b. Przypuszczalne przekroje schematyczne wielkiego stosu atomowego.

przewyższać moc największego cyklotronu. Nadmienimy tu jeszcze, że uruchomiony na początku wojny w Berkeley cyklotron dawał tyle neutronów, ile dałoby ich 1200 kg radu pomieszanego z berylem (mieszanina taka stanowi najlepsze źródło neutronów poza cyklotronem).

Obsługa stosu musi być zaopatrzona w specjalne aparaciki kontrolne, wskazujące, czy natężenie promieni γ bądź neutronów w otoczeniu stosu atomowego nie sięga wartości szkodliwych dla zdrowia. O niebezpieczeństwie ze strony neutronów i promieni γ była mowa wyżej (§ 28).

34. Możliwości zastosowania energii wewnątrzjądrowej do celów przemysłowych.

Należy tu przede wszystkim zwrócić uwagę na to, że źródłem tej energii może być nie tylko uran 235, jak mogłoby się wydawać na pierwszy rzut oka, lecz również i uran 238. W stosie uranowym początkowo źródłem energii jest istotnie uran 235; w miarę jednak jego zużycia tworzy się z uranu 238 pluton i to w tej samej mniej więcej ilości, co zużyty uran 235. Otóż pluton ulega rozszczepieniu pod wpływem neutronów termicznych równie dobrze, a nawet lepiej jeszcze niż uran 235, a więc może on podtrzymywać dalej działanie stosu nawet po zupełnym zużyciu uranu 235. W miarę rozszczepiania się jąder plutonu powstają nowe jego jądra z uranu 238; w ten sposób stos może działać aż do całkowitego wyczerpania uranu.

Co więcej, źródłem energii atomowej może być również tor 232. Stos czysto torowy nie mógłby oczywiście sam przez się być źródłem energii, ale do „zapalenia" go potrzebna jest tylko początkowo odpowiednia domieszka uranu 235. Pod wpływem pochłaniania neutronów o energii kilkudziesięciu elekronowoltów tor przechodzi w nietrwały izotop, którego jądro po wyrzuceniu dwu kolejnych elektronów $\beta-$ przetwarza się (§ 25) w izotop uranu U^{233}. I znów na jedno ulegające rozszczepieniu jądro U^{235} powstaje mniej więcej jedno jądro U^{233}, ponieważ zaś jądro to ulega rozszczepieniu pod działaniem neutronów termicznych jeszcze łatwiej, niż jądro uranu 235, nowopowstający uran 233 może zastępować znikający uran 235 i dalej podtrzymywać działanie stosu aż do zupełnego wyczerpania toru. Uran 233 nadaje się do bomb atomowych równie dobrze jak uran 235 lub pluton. Tak więc w dzisiejszym stanie rzeczy za źródło energii atomowej można uważać wszystkie dostępne zasoby uranu i toru.

Zasoby pierwiastków tych w skorupie ziemskiej nie są małe: ułamek toru w skorupie ziemskiej wynosi 2.10^{-5}, uranu zaś 9.10^{-6}, nie są to więc w zasadzie pierwiastki rzadkie. Zawartość toru w skorupie ziemskiej jest nawet nieco większa niż ołowiu. Jednakże tor jest bardzo rozproszony; główny minerał toronośny, monacyt, rzadko tylko znajduje się w większych skupiskach. Najważniejsze złoża monacytu istnieją w Indiach i w Brazylii; roczna produkcja toru przed wojną sięgała 600 ton. Zawartość uranu w skorupie ziemskiej jest kilkadziesiąt razy większa niż złota, a trzykrotnie większa niż jodu; złoża uranu są bardziej skupione niż złoża toru. Największe złoże uranu (smółki uranowej) znajdują się w Kongo Belgijskim (Katanga) i w Kanadzie północno-zachodniej, nad Wielkim Jeziorem Niedźwiedzim. Mniejsze znacznie złoża istnieją w Portugalii i w Czechosłowacji (Jachymowo). Przed wojną złoża uranowe były dość dobrze zbadane niemal wyłącznie ze względu na zawartość w nich radu.

W przemyśle związki uranu stosowane były na nie wielką skalę w fotografii oraz do barwienia szkła i glazury, również jako katalizatory w pewnych procesach chemicznych prowadzonych na wielką skalę techniczną. Można powiedzieć, że uran stanowił właściwie produkt poboczny przy uzyskiwaniu radu. Z tego też względu nawet i własności uranu metalicznego mało były zbadane przed wojną. Roczną produkcję uranu w 1940 r. można ocenić na około 1 400 ton. Obecnie zainteresowanie się uranem i torem niepomiernie wzrosło; nowe złoża rud uranowych wykryte zostały w Z. S. R. R. i w Australii. Można przypuszczać, że produkcja uranu i toru bardzo wzrośnie.

Jeden kilogram metalicznego uranu zawiera $6,02.10^{26}/238 = 2,53.10^{24}$ jąder; jeden kilogr. toru $6,02.10^{26}/232 = 2,59.10^{24}$ jąder. Przy rozszczepianiu się jednego jądra uranu czy też toru wydziela się średnio energia 180 MeV. A zatem przez wywołanie rozszczepienia jąder jednego kilograma uranu możemy wyzwolić energię

$$2,53.10^{24}.180\,\text{MeV} = 2,53.10^{24}.180.4,45.10^{-20}\,\text{kWh} = 2,02.10^{7}\,\text{kWh}$$

podobnie 1 kg toru przy rozszczepieniu jąder może dać energię

$$2,59.10^{24}.180.4,45.10^{-20}\ \text{kWh} = 2,08.10^{7}\ \text{kWh}.$$

Ponieważ ciepło spalania 1 tony dobrego węgla w przeliczeniu na jednostki energii wynosi średnio 8500 kWh, wynika stąd, że rozszczepienie jąder 1 kilograma uranu daje tyle energii, ile się jej wytwarza przy spalaniu 2380 ton węgla, a rozszczepienie jąder 1 kilograma toru daje równowartość energetyczną 2450 ton węgla. Wynika stąd dalej, że energia, którą można by uzyskać z rocznej przedwojennej produkcji uranu i toru, jest równoważna energii, wytwarzanej przy spaleniu $4,8.10^{9}$ ton węgla. Roczne światowe wydobycie węgla w przeliczeniu na węgiel kamienny sięgało $1,2.10^{9}$ ton, a więc widzimy, że pod względem zawartości energii przedwojenna roczna światowa produkcja uranu i toru czterokrotnie przewyższa roczną światową produkcję węgla kamiennego. Mamy więc do czynienia z nowym bardzo bogatym źródłem energii. Trzeba jednak pamiętać, że znane przedwojenne złoża uranu oceniano na około 50 000 ton uranu, a więc przy produkcji przedwojennej starczyłoby ich zaledwie na 30 lat. Z drugiej strony wykryte już zostały, jak widzieliśmy, nowe złoża uranu, a można spodziewać się wykrycia dalszych bogatych złóż tego pierwiastka (między innymi w Antarktydzie).

Jeżeli chodzi o zastosowanie stosów atomowych do celów przemysłowych, należy przede wszystkim podkreślić, że przy dzisiejszym stanie naszej wiedzy nie jest rzeczą możliwą zastosowanie energii atomowej do pędzenia samochodów czy aeroplanów. W zasadzie przy użyciu czystego uranu 235, bądź też uranu czy toru wzbogaconego w uran 235, można by zbudować stosy o mocy, powiedzmy, 100 kW; jednakże promieniowanie neutronów i fotonów γ takiego stosu jest bardzo silne i osłona przed nim wymaga płyt ołowianych. Tak więc jeśli by chodziło o silniki atomowe, w których bezpośrednim sąsiedztwie mają się znajdować ludzie, to najmniejszy taki silnik nie mógłby ważyć mniej niż około 50 ton.

Jak widzimy, wyklucza to istotnie możliwość użycia energii atomowej do napędu aeroplanów czy samochodów. Jednakże na okrętach oceanicznych, gdzie chodzi o silniki mocy setek tysięcy kW i gdzie ciężar silnika nie gra tak wielkiej roli, energia atomowa znajdzie zastosowanie już prawdopodobnie w niedalekiej przyszłości. Obecnie już w Stanach Zjednoczonych opracowywane są plany konstrukcji silników okrętowych o napędzie atomowym. Wielką zaletę takich silników stanowiłoby zupełnie znikome zużycie paliwa, co pozwoliłoby zupełnie uniezależnić okręty o takim napędzie od baz i uzyskać o wiele lepsze wyzyskanie objętości do celów użytkowych zamiast na zapasy paliwa. Można by również pomyśleć o zastosowaniu napędu atomowego do bardzo wielkich lokomotyw. Inna możliwość przy dzisiejszym stanie techniki to zastosowanie napędu atomowego do pocisków rakietowych, bądź do napędu samolotów — robotów, sterowanych na odległości.

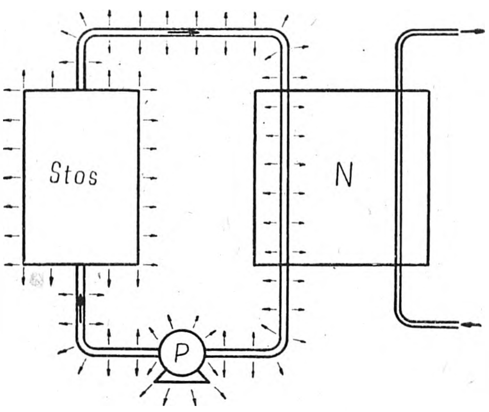
Jednak najważniejszym dzisiaj zastosowaniem energii atomowej byłoby wyzwalanie jej w wielkich stosach i użycie jej do napędu wielkich elektrowni zamiast energii cieplnej węgla, czy też energii wody. Istnieje pewna optymalna wielkość stosu z punktu widzenia kosztów. Mniejsze stosy mają stosunkowo większą zawartość uranu, natomiast mniejsze jest prawdopodobieństwo równoczesnego defektu kilku mniejszych stosów niż jednego równoważnego większego. Wielką zaletę stosów atomowych stanowi mały koszt materiału pędnego. Cena rynkowa węgla w Stanach Zjednoczonych wynosi dzisiaj 7 dolarów za tonę; cena chemicznie czystego uranu — około 50 dolarów za kilogram. Ale kilogram ten daje tyle energii co 2380 ton węgla, a więc koszt materiału pędnego na jednostkę energii jest w przypadku zastosowania uranu przeszło trzy tysiące razy mniejszy niż przy stosowaniu węgla. Ten koszt jest więc bez znaczenia w ogólnym bilansie; pod tym względem elektrownie o napędzie atomowym przypominają elektrownie wodne. Główny koszt elektrowni atomowej — to koszty instalacyjne i stopniowe zużycie materiału stosu. Koszty te bardzo trudno jest dzisiaj ocenić. Źródła amerykańskie, rozporządzające danymi niedostępnymi dla nas, podają, że w elektrowni atomowej o mocy 75000 kW koszt prądu wyniósłby o 23% więcej niż w elektrowni węglowej. Wielką zaletę elektrowni atomowych stanowiłaby możliwość instalowania ich nawet w miejscach trudno dostępnych. Gdy raz pokonałoby się trudności transportu instalacji, potrzebny do podtrzymania działalności elektrowni dowóz uranu czy toru byłby już znikomo mały.

Oczywiście, konstrukcja stosów atomowych pędzących elektrownie musiałaby być nieco inna, niż stosów, wytwarzających pluton. Pierwszym koniecznym warunkiem dla uzyskania odpowiednich sprawności energetycznych byłoby uzyskanie znacznie wyższych temperatur pracy stosu. Byłoby rzeczą konieczną uzyskanie temperatur rzędu kilkuset stopni. Stos pracujący w tej temperaturze nagrzewałby do niej substancję chłodzącą, ta zaś z kolei mogłaby służyć za źródło ciepła do wytwarzania dużych ilości pary wodnej czy też pary rtęci, które już dalej byłyby użyte jak w zwykłych turbinach parowych. Krótko mówiąc, stos dostarczałby ciepła do urządzenia nagrzewającego. Poza tym urządzeniem mielibyśmy już zwykłe typy silników cieplnych, nowością zaś byłyby urządzenia samego stosu. Jako substancji przenoszącej ciepło można by użyć stopionego metalu, np. bizmutu, krążącego w rurach. Trzeba pamiętać, że substancja ta staje się promieniotwórczą pod działaniem promieniowań wnętrza stosu, a zatem musi ona płynąć odpowiednio osłoniętymi kanałami. Rys. 19 przedstawia schematyczne urządzenie takiej siłowni cieplnej atomowej. Strzałkami zaznaczono promieniotwórczość materiału.

Grafit nie jest, jak wspomniano (§ 31), jedynym możliwym ani też najlepszym moderatorem. Teoretycznie naj-

korzystniejsze byłoby użycie jakiegoś związku deuteru, najlepiej ciężkiej wody. Próbny stos uranowy z ciężką wodą jako moderatorem uruchomiono w 1944 r. w laboratorium Argonne pod Chicago; moc jego sięgała zaledwie kilkuset kilowatów. Pracował on zupełnie zadawalająco, zgodnie z oczekiwaniami.

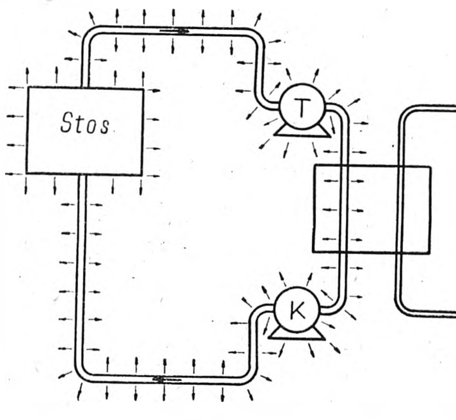
Do pomyślenia są i inne sposoby wykorzystania energii wyzwalanej w stosie. Substancją chłodzącą może być powietrze, którego ciśnienie rośnie w miarę wzrostu jego



Rys. 19. Schemat siłowni atomowej parowej
N nagrzewacz, P pompa

temperatury — powietrze to może być użyte np. do napędu turbiny T. Możliwe tu są dwa warianty: albo powietrze wykonywa obieg zamknięty w odpowiednio osłoniętych rurach (rys. 20), albo też po wyjściu z turbiny uchodzi na zewnątrz (rys. 21). W obu wypadkach powietrze po przejściu przez stos staje się promieniotwórczym; jeśli więc wypuszcza się je na zewnątrz, musi ono przejść przez zbiorniki, w których pozostaje póty, póki promieniotwórczość jego nie osłabnie dostatecznie. Zauważymy, że próbny stos atomowy w Clinton o mocy 1000 kW był chłodzony powietrzem.

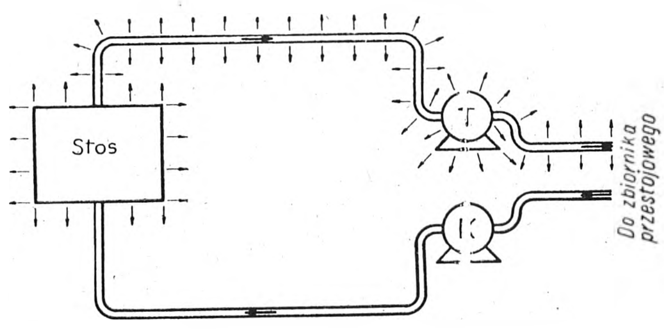
Opanowanie szczegółów technicznych tego rodzaju elektrowni wymagać będzie pewnego czasu, można jednak przypuszczać, że już nie długo, być może w najbliższych latach zostaną uruchomione pierwsze próbne elektrownie.



Rys. 20. Schemat siłowni atomowej powietrznej z obiegiem zamkniętym
T turbina, K sprężarka

Zdaniem J. R. Oppenheimera, wybitnego fizyka, który brał udział w pracach nad bombą atomową, już w ciągu jakichś 10 lat energia atomowa może znaleźć zastosowanie np. do napędu wielkich statków, olbrzymich rakiet, wielkiej siłowni w bliskości bieguna itd.

Wykorzystanie stosów atomowych jako źródła energii cieplnej nie jest jedyne do pomyślenia. Możnaby np. wykorzystać obecność w stosach olbrzymich ilości szybkich neutronów do wywołania w ich wnętrzu na skalę techniczną egzotermicznych reakcji w lekkich jądrach, wprowadzanych do stosu. Przez zderzenia szybkich neutronów z wprowadzonymi do wnętrza stosu jądrami wodoru czy deuteru można by uzyskać wielkie ilości szybkich protonów czy deutonów, tych zaś z kolei użyć, według pomysłu H. Thirringa, do wywoływania na skalę techniczną reakcji takich jak omówiona już poprzednio (§ 12) reakcja Li_3^7 (p, α) He_2^4, wyzwalająca energię 17,2 MeV na atom litu, lub też reakcja D_1^2 (d, n) He_2^3, wyzwalająca 3,2 MeV na deuton. Jak widzimy zatem, istnieją już dzisiaj konkretne perspektywy wyzwalania energii jądrowej i z lekkich jąder, np. z litu,



Rys. 21. Schemat siłowni atomowej powietrznej z obiegiem otwartym
T turbina, K sprężarka

ciała o wiele bardziej pospolitego, niż uran czy tor. Uran pozostaje jednak niezbędny do wywoływania tych reakcji na skalę techniczną.

Należy na zakończenie podkreślić, że jesteśmy dopiero u samego początku zastosowań energii atomowej na skalę techniczną. Analogie z innymi wielkimi inowacjami, opartymi na wykorzystaniu nowych dziedzin dla techniki, pozwalają przypuszczać, że wyzwolenie energii wewnątrzjądrowej przynieść nam może dużo nowych i zupełnie nie dających się dzisiaj przewidzieć zastosowań. Gdy pod koniec XIX wieku wykryto elektron, nikt wówczas nie mógł przewidzieć budowy lamp radiowych i wspaniałego rozwoju radiofonii, a dalej telewizji i radaru. Podobnie i dzisiaj możemy oczekiwać doniosłych konsekwencji zastosowań energii atomowej w fizyce, technice, medycynie i biologii.

W szczególności możemy spodziewać się w technice bardzo wielkich, rewolucyjnych wprost przemian, związanych z udostępnieniem olbrzymich ilości energii w niesłychanie skoncentrowanej formie. Odsłania to zupełnie nowe możliwości w szeregu dziedzin. Ale to są już sprawy przyszłości.

LITERATURA

A. Literatura wprowadzająca w zagadnienie

1. Szczeniowski S. Budowa jądra atomowego. Państw. Zakłady Wydawnictw Szkolnych. Warszawa 1947.
2. Szczeniowski S. Zastosowania energii atomowej. Państw. Zakł. Wyd. Szk. Warszawa 1947.
3. Rybka E. Energia atomowa w gwiazdach. Państ. Zakł. Wyd. Szk. Warszawa 1946.
4. Ścisłowski W. M. Promieniotwórczość naturalna i sztuczna. Państw. Zakł. Wyd. Szk. Warszawa 1947.
5. Heisenberg W. Die Physik der Atomkerne. Braunschweig, 1943.
6. Hanle W. Künstliche Radioaktivität. Jena, 1939.
7. Pollard E. and Davidson W. L. Applied Nuclear Physics. New York, 1942.
8. Smyth Henry D. Atomic Energy for Military Purposes. Princeton, 1945.
9. Science News, 2, Penguin Books, 1947.

B. Literatura do pogłębienia wiadomości

1. Bethe H. A. and Bacher F. R. Nuclear Physics A. Reviews of Modern Physics, t. 8, 1936, str. 82.
2. Bethe H. A. Nuclear Physics B. Rev. of Mod. Phys., t. 9, 1937, str. 69.
3. Livingston M. S. and Bethe H. A. Nuclear Physics C. Rev. of Mod. Phys., t. 9, 1937, str. 245.
4. Flügge S. Kann der Energieinhalt der Atomkerne nutzbar gemacht werden? Naturwissenschaften, t. 27, 1939, str. 402.
5. Mattauch J. Kernphysikalische Tabellen. Berlin, 1942.
6. Riezler W. Einführung in die Kernphysik, Leipzig, 1944.
7. Bohr N. and Wheeler J. A. Mechanism of the Nuclear Fission. Physical Review, t. 56, 1939, str. 426.
8. de Broglie L. De la mécanique ondulatoire à la théorie du noyau. I. Paris, 1943; II. Paris, 1945; III. Paris, 1946.

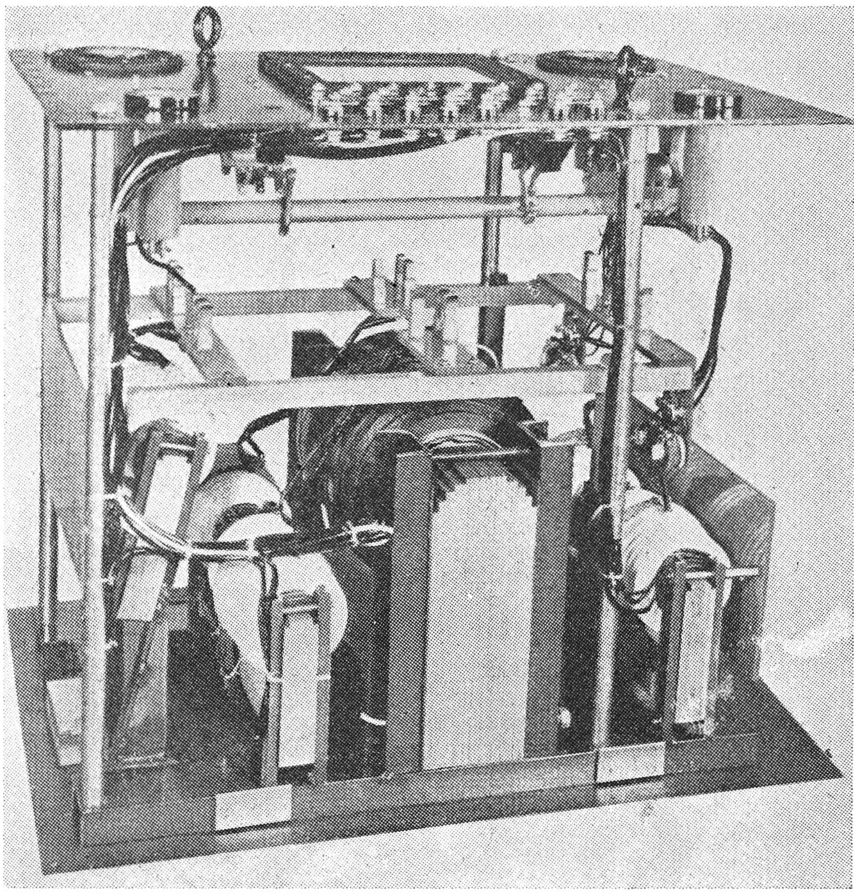
INŻ. JÓZEF DOMANUS

Przemysł rentgenowski w krajach anglosaskich

Aparaty medyczne i przemysłowe*)

1. Ogólna charakterystyka.

Stany Zjednoczone. Przemysł aparatów rentgenowskich w St. Zjedn. składa się z grupy czołowej dużych fabryk, współzawodniczących ze sobą i produkujących aparaty bardzo mało różniące się od siebie, oraz szeregu mniejszych fabryk, które jednak nie produkują wszystkich typów aparatów. Wymienić należy następujące fabryki: General Electric w Chicago (najstarsza i największa, 3.500 pracowników), Westinghouse w Baltimore (produkuje stosunkowo od niedawna, 800 prac.), Picker w Cleveland (350 prac.), Kelley-Koett w Covington (250 prac.) i Philips w Mt. Vernon i Dobbs Ferry (200 prac.).

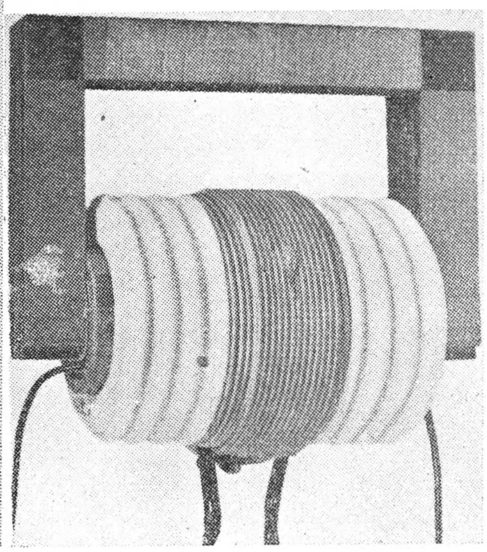


Rys. 1. Wnętrze generatora na 500 mA (General Electric)

Produkcją lamp rentgenowskich zajmują się, praktycznie biorąc, tylko trzy firmy. Najstarsza z nich jest wymieniona już wyżej General Electric. Posiada ona szereg własnych modeli lamp, m. inn. lampę z wirująca anodą własnej konstrukcji. General Electric nie sprzedaje swych lamp innym producentom aparatów rentgenowskich. Największą fabryką lamp rentgenowskich w Ameryce, jak również na całym świecie, jest fabryka Machlett w Springdale (800 prac.). Pokrywa ona ok. 60% zapotrzebowania rynku światowego w tej dziedzinie. Trzecią co do wielkości jest fabryka Eureka w Chicago, na razie o znaczeniu lokalnym, (100 pracown.) Również Westinghouse i Philips produkują lampy rentgenowskie na własny użytek, lecz nie wszystkich typów.

Zasługą firmy General Electric jest to, że wypracowała ona w swych laboratoriach badawczych większość istniejących dziś na rynku światowym typów zarówno aparatów, jak i lamp. Cechą charakterystyczną dla całego przemysłu rentgenowskiego w Ameryce jest zupełny brak oryginalności w wyrobach poszczególnych fabryk.

Inną cechą charakterystyczną rynku amerykańskiego jest brak specjalnej aparatury przemysłowej. Poza aparatami dyfrakcyjnymi, które nie znajdują zastosowania w medycynie, pozostałe modele aparatów przemysłowych powstały z aparatów medycznych przeważnie przez zmianę konstrukcji mechanicznej. Zmianie ulega najczęściej konstrukcja stojaka lampowego. Wymienia się również lampę, którą umieszcza się jednak w tym samym kołpaku. Przyczyną tego stanu jest stosunkowo mały popyt na aparaty przemysłowe. Jest on ok. 10 razy mniejszy od zapotrzebowania na aparaty medyczne. W czasie wojny wiele gałęzi przemysłu musiało dla zamówień państwowych przeprowadzać kontrolę swych wyrobów przy pomocy aparatów rentgenowskich. Obecnnie jednak nie stosuje się tej metody kontroli produkcji na tak szeroką skalę ze względu na dodatkowe koszty z tym związane.



Rys 2. Transformatorek żarzeniowy (General Electric)

Specjalny dział produkcji stanowią aparaty na miliony woltów. Stosunkowo niedawno ukazały się na rynku amerykańskim aparaty rentgenowskie na 1 i 2 MV. Budowane są one na dwu różnych zasadach: elektrostatyczne i elektromagnetyczne. Oba typy aparatów produkowane są na skalę przemysłową. Nawet w dziedzinie aparatów o najwyższych napięciach znajdują się na rynku aparaty produkcji seryjnej, dochodzące do 20 MeV. W najbliższej przyszłości będzie można nabywać betatrony na 50 MeV, w laboratoriach badawczych pracują już betatrony na 100 MeV.

Zastosowanie aparatów rentgenowskich w medycynie jest bardzo szerokie zarówno w szpitalach, jak i przez prywatnych lekarzy. Szpitale stosują najnowsze zdobycze z dziedziny radiologii. Wiele z nich posiada już aparaty rentgenowskie na 1, 2 i 3 MV. Wynaleziony stosunkowo niedawno betatron znalazł już zastosowanie w szpitalach. Oddziaływanie promieniowania, wysyłanego przez aparaty najwyższych napięć, na organizm ludzki nie zostało jeszcze dokładnie zbadane.

Najnowsze zdobycze rentgenologii zostały również zastosowane w przemyśle. Zwłaszcza aparaty najwyższych napięć nadają się doskonale do badań przemysłowych. Mają one nawet większy zbyt w przemyśle niż w medycynie.

Kanada posiada tylko jedną fabrykę aparatów rentgenowskich. Jest nią Ferranti Electric w Toronto, związana

*) Artykuł zawiera wyniki studiów autora w czasie zagranicznej podróży naukowej w 1946/47 r. Temat ten był przedmiotem odczytu w Oddziale Warszawskim SEPu 24. IV. 47.

z firmą Westinghouse, od której kupuje części. Fabryki lamp rentgenowskich w Kanadzie nie ma.

Anglia posiada szereg fabryk aparatów rentgenowskich. Do największych należą fabryki: Philips, Watson & Sons, General Radiological, Solus, Metropolitan Vickers, Siemens. Istnieje również parę fabryk lamp rentgenowskich, choć w Anglii znajdują również zastosowanie lampy amerykańskie (głównie Machletta).

Przemysł angielski nie miał takich możliwości rozwoju w ciągu wojny jak przemysł amerykański. Dlatego też wyroby angielskie posługują się głównie modelami przedwojennymi.

Konstrukcje angielskie odznaczają się na ogół ciężkością. Wymiary wielu elementów są większe niż w analogicznych konstrukcjach amerykańskich. Chętnie stosuje się dotychczas doprowadzenie kabli górą. Zdarza się często, że przeciwwaga stołów umieszczana jest na suficie, co czyni instalację nieprzejrzystą. Transformatory w Anglii są wykonywane na stosunkowo większą moc: zwykły aparat radiograficzny posiada zazwyczaj transformator na 400 mA, gdy analogiczne aparaty amerykańskie zadawalniają się na ogół 200mA. Dalej transformatory aparatów angielskich przystosowane są do zasilania 2 lub 3 lamp, gdy Amerykanie stosują z reguły oddzielny transformator dla każdego aparatu.

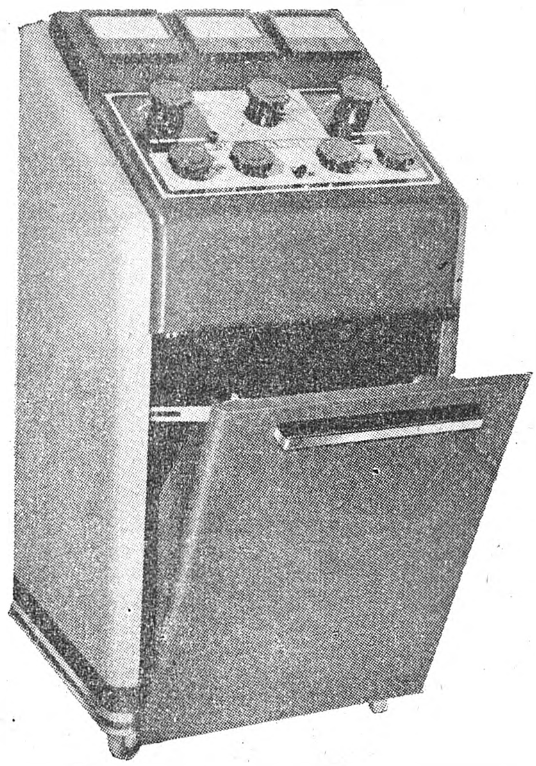
W dziedzinie aparatów terapeutycznych można zauważyć dalszą rozbieżność pomiędzy przemysłem angielskim i amerykańskim. Aparaty do głębokiej terapii budowane dziś w Anglii posiadają często izolację powietrzną, co już zupełnie zarzucono w Ameryce. Napięcia stosowane w tych aparatach w Anglii są rzędu 200 kV. Amerykanie posługują się aparatami o napięciach 200, 220, 250 i 400 kV, pełnoochronnymi z izolacją olejową. Anglicy nie produkują zupełnie aparatów milionowoltowych, ani też nie stosują ich w szpitalach. W Ameryce niema dziś aparatu małoobrazkowego, któryby nie posiadał zegara fotoelektrycznego. Aparaty angielskie przyrządów tych wcale nie znają. Anglia nie posiada w dziedzinie aparatów rentgenowskich tego rodzaju laboratoriów badawczych, jakie mają np. General Electric czy Westinghouse w Ameryce.

2. Aparaty medyczne.

Aparaty medyczne niezależnie od tego, czy to są aparaty diagnostyczne czy terapeutyczne, składają się z tych samych części składowych generatora, stolika rozdzielczego, stojaka lampowego i stołu.

Generatory

Generatory aparatów rentgenowskich składają się z transformatora wysokiego napięcia, transformatorka żarzenio-



Rys. 3. Stolik rozdzielczy z pulpitem jednopłaszczyznowym (Continental)

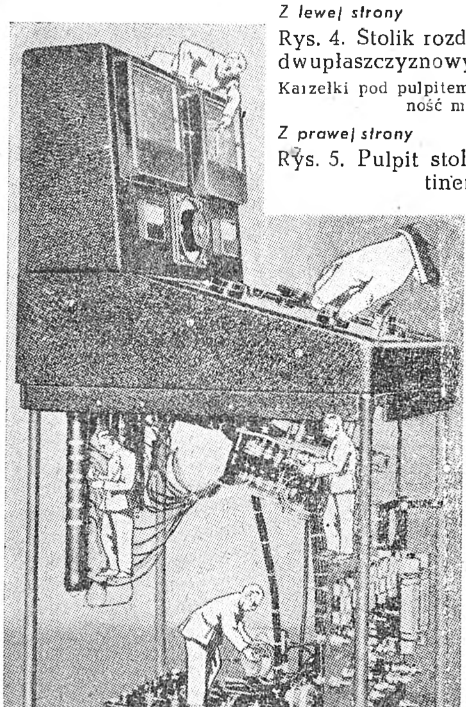
Z lewej strony

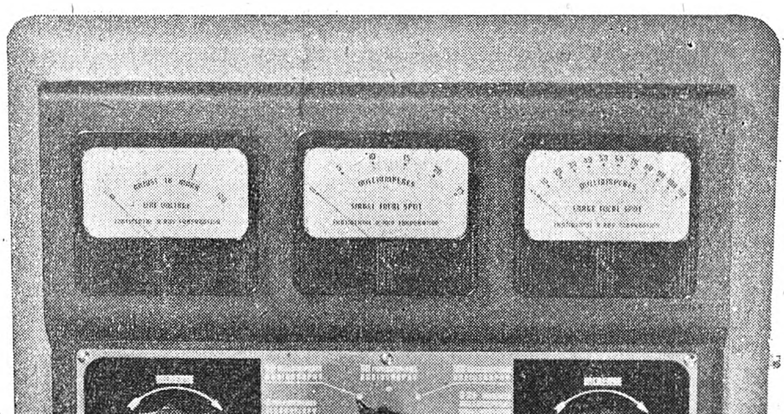
Rys. 4. Stolik rozdzielczy z pulpitem dwupłaszczyznowym (Kelley-Koett)

Karzełki pod pulpitem symbolizują dokładność montażu.

Z prawej strony

Rys. 5. Pulpit stolika z rys. 3 (Continental)





wego i układu prostowniczego. Niezależnie od tego, w jakim układzie pracuje dany generator, konstrukcja samego transformatora pozostaje ta sama.

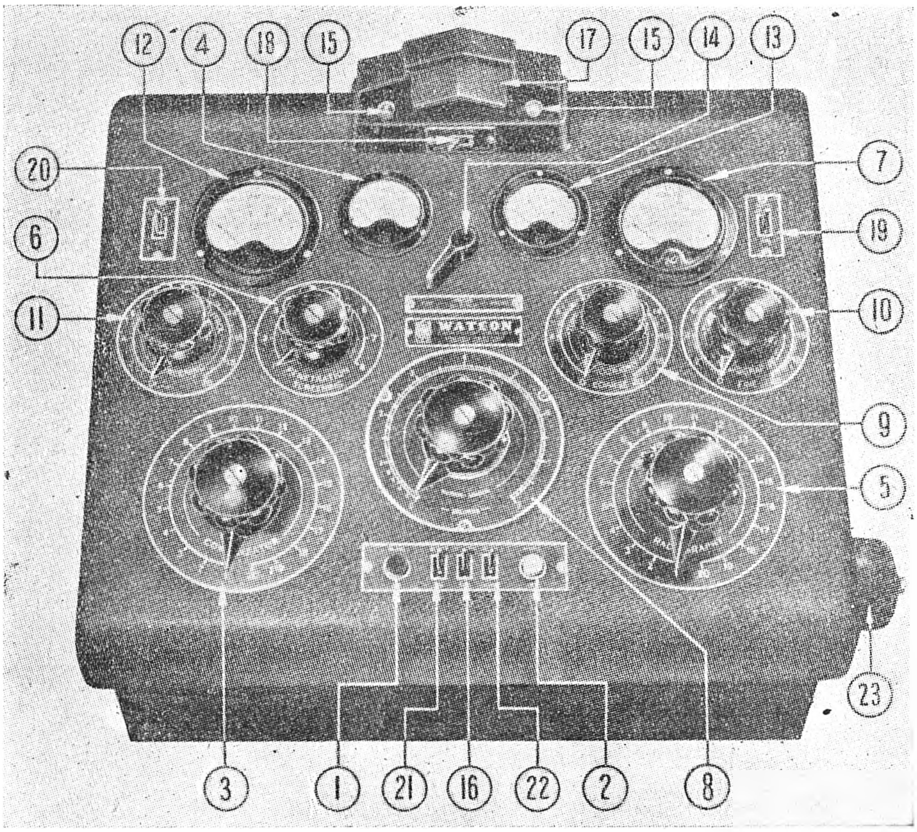
Transformatory są budowane w sposób ręczny. W większości wypadków rdzenie są wyrabiane na miejscu w fabryce. Po złożeniu rdzeń okręca się taśmą bawełnianą. Uzwojenie pierwotne nawija się wprost na rdzeń lub też na tuleje z materiału izolacyjnego, przeważnie bakelitu. Jest ono wykonywane drutem w oplocie z materiału włóknistego. Nawijanie odbywa sie ręcznie na zwykłej nawijarce. Uzwojenie wtórne wykonywane jest z drutu emaliowanego na tulei izolacyjnej. Po każdej warstwie drutu następuje kilka warstw papieru lub ceratki. Niektóre fabryki pokrywają każdą warstwę drutu szelakiem. Często fabryki kupują gotowe uzwojenia wysokiego napięcia. Przy wykonywaniu uzwojeń wtórnych bywają stosowane nawijarki wielokrotne pozwalające na nawijanie do 10 cewek naraz.

Transformatorki żarzeniowe wykonywa się podobnie. Posiadają one czasem izolację porcelanową. Transformatory wysokiego napięcia posiadają z reguły uzwojenie wtórne podzielone na dwie części i uziemione w środku. Transformatorki żarzeniowe są połączone z jednym końcem uzwojenia wtórnego transformatora głównego, muszą więc być izolowane na pół napięcia nominalnego aparatu.

Westinghouse używa na rdzenie materiału hypersil, dzięki któremu osiąga się mniejsze wymiary i wagę transformatora. Rdzenie z tego materiału są uwarstwione w płaszczyznach prostopadłych do płaszczyzn uwarstwienia zwykłych transformatorów. Poza tym po nawinięciu uzwojeń na rdzeń transformator ów poddawany jest dodatkowemu procesowi impregnacyjnemu. Polega on na tym, iż transformator umieszcza się w kotle próżniowym wypełnionym specjalnym smarem i ogrzewa się. Pod wpływem wysokiej temperatury i próżni smar przenika w głąb uzwojeń transformatora i uodparnia je na działanie wilgoci. Transformator taki można transportować bez oleju, gdyż nie zachodzi obawa zawilgocenia uzwojeń.

Wszystkie transformatory budowane obecnie są izolowane olejem.

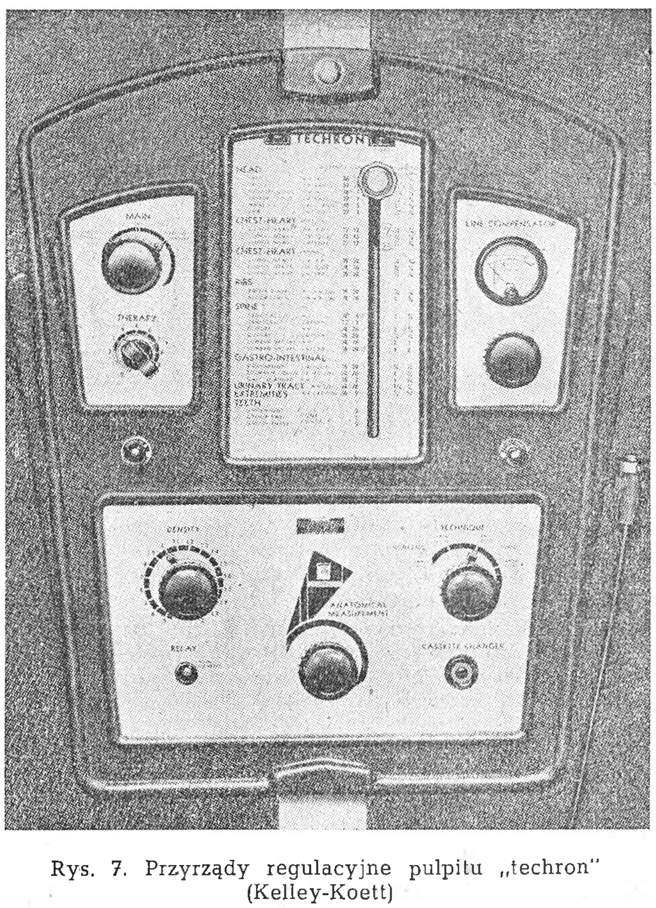
Układy prostownicze stosowane w nowoczesnych aparatach rentgenowskich są to wyłącznie układy lampowe. W aparatach diagnostycznych mamy najczęściej do czynienia z układem czterolampowym. Z wyjątkiem aparatów małoobrazkowych, gdzie często układ prostowniczy umieszczony jest w oddzielnej skrzyni, lampy prostownicze wraz z ich transformatorkami żarzeniowymi umieszczane są razem z transformatorkiem żarzeniowym lampy rentge-



OZNACZENIA

1) Przycisk włączający linię
2) Przycisk wyłączający linię
3) Kompensator napięcia linii
4) Woltomierz mierzący napięcie linii
5) Regulator napięcia działający w czasie zdjęć
6) Regulator napięcia do prześwietleń
7) Woltomierz pierwotnego napięcia transformatora (dla określenia napięcia po stronie wtórnej pod obciążeniem trzeba posługiwać się wykresem wzorcowniczym aparatu)
8) Zegar synchroniczny
9) Regulator prądu żarzeniowego zgrubny (do zdjęć)
10) Regulator prądu żarzeniowego dokładny (do zdjęć)
11) Regulator prądu żarzeniowego do prześwietleń
12) Miliamperomierz dwuzakresowy: 0—5 mA do prześwietleń i 0—150 mA do zdjęć; zmiana zakresu dokonywana jest samoczynnie przy przerzuceniu przełącznika 16
13) Woltomierz obwodu żarzeniowego lampy rentgenowskiej
14) Przełącznik do wyboru ogniska lampy
15) Świetlny wskaźnik wybranego ogniska
16) Przełącznik: prześwietlanie/zdjęcia
17) Oświetlenie pulpitu
18) Wyłącznik oświetlenia pulpitu
19) Wyłącznik do tomografu
20) Wyłącznik do zdjęć miejscowych
21) Wyłącznik do ruchomej przysłony Bucky
22) Wyłącznik oświetlenia pokoju, w którym zainstalowany jest aparat
23) Ręczny wyłącznik do zdjęć

Rys. 6. Pulpit stolika aparatu angielskiego na 100 mA. (Watson)



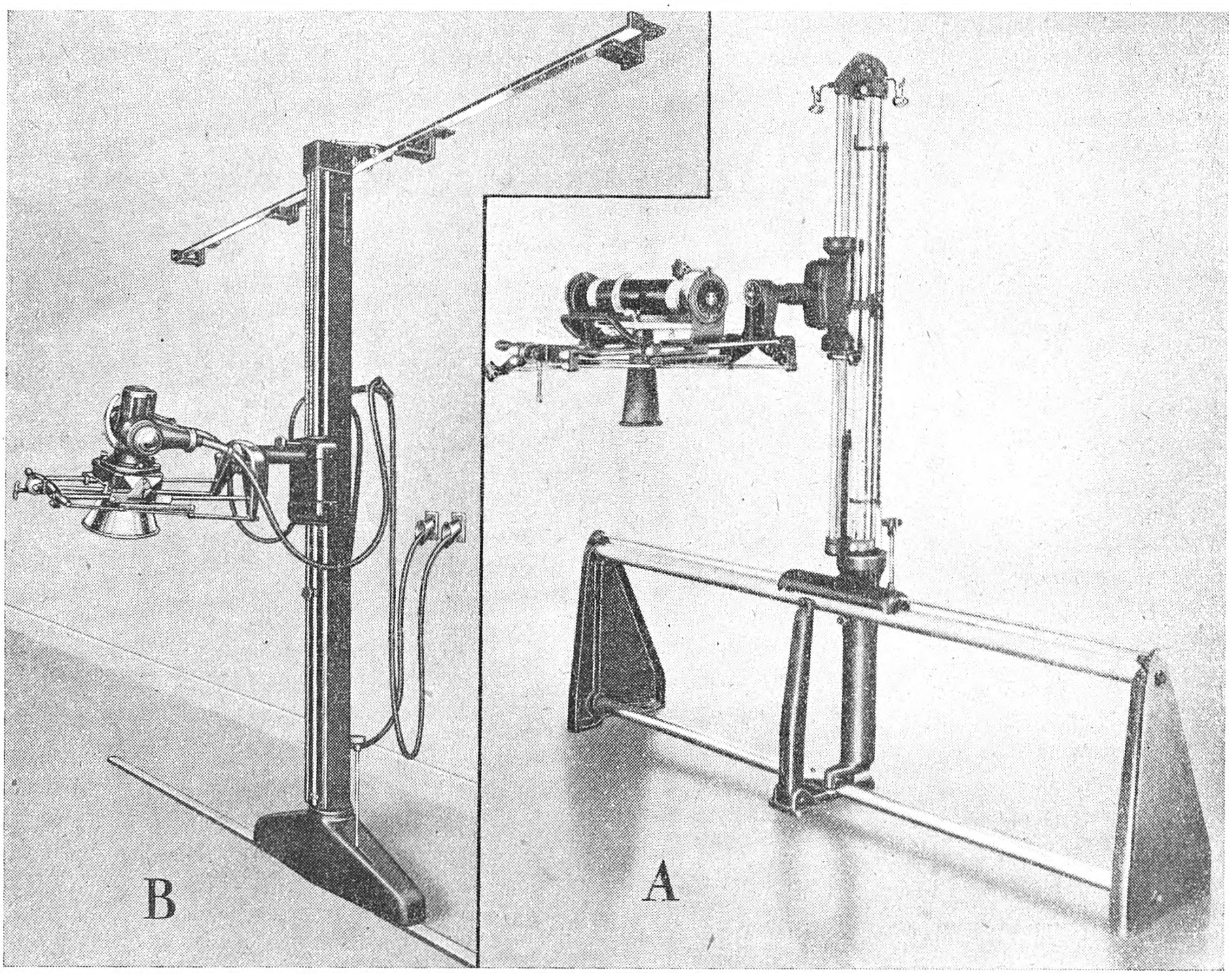
Rys. 7. Przyrządy regulacyjne pulpitu „techron" (Kelley-Koett)

nowskiej i transformatorem wysokiego napięcia we wspólnej skrzyni olejowej. W układzie czterolampowym często stosuje się trzy transformatorki żarzeniowe dla czterech kenotronów.

Generatory, zawierające kondensatory w swym układzie prostującym, posiadają również izolację olejową. Ma to miejsce głównie w aparatach terapeutycznych. Aparaty dentystyczne przenośne i przewoźne, jak również niektóre aparaty terapeutyczne na 250 i 400 kV posiadają głowice,

skazówka ślepego woltomierza powinna zatrzymać się na kresce. Oznacza to, że pracujemy na właściwym napięciu. Wahania napięcia linii kompensowane są regulatorem (po zwolnieniu przycisku skazówka woltomierza powinna również zatrzymać się na kresce). Przy pomocy gałki środkowej wybieramy technikę zdjęć.

A więc w skrajnym położeniu lewym można dokonywać naświetlań przy 5 mA. Następne położenie przygotowuje aparat do prześwietlań przy 5 mA. Trzy dalsze położenia



Rys. 8. Stojak oparty na podłodze (A) i stojak wsparty na podłodze i suficie (B) (Kelley-Koett)

w których mieści się transformator i lampa rentgenowska. Całość jest zanurzona w oleju. Aparat taki pracuje w układzie samoprostującym.

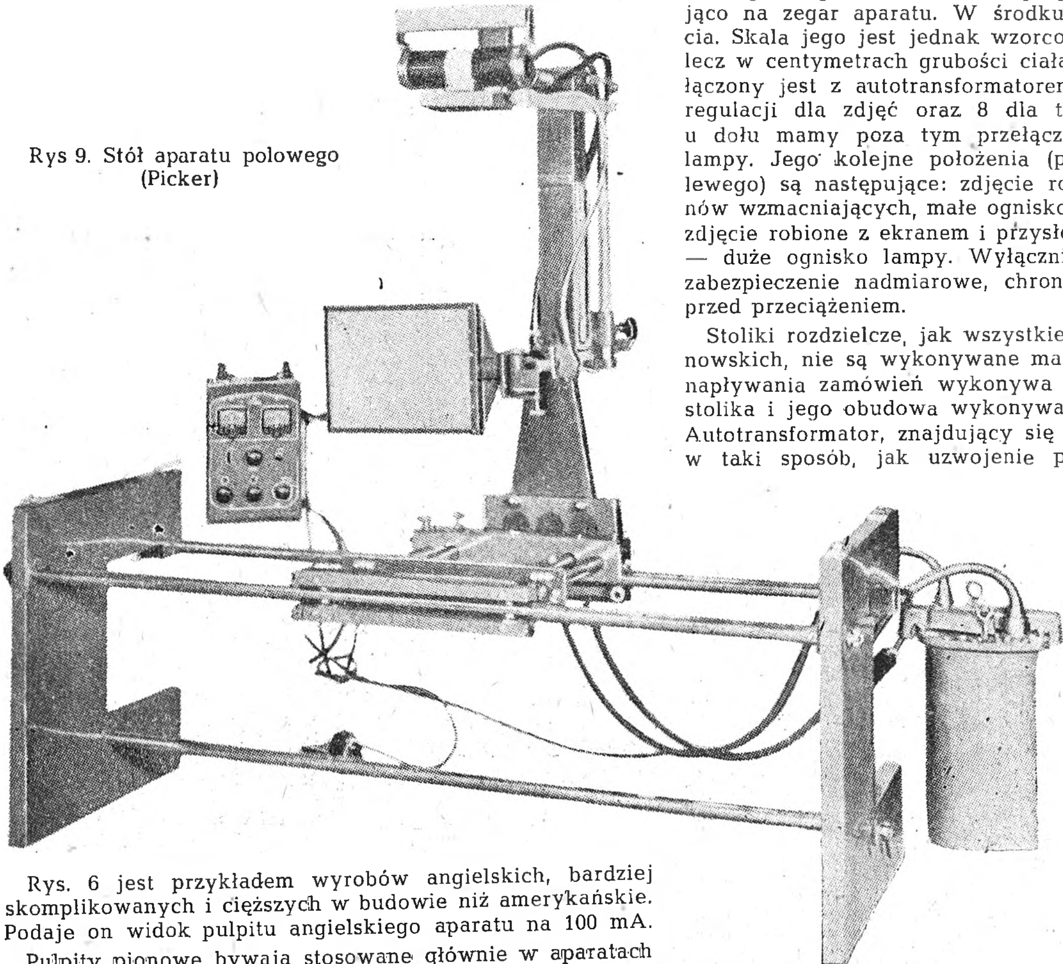
Rys. 1 pokazuje wnętrze generatora na 500 mA, (lampy prostownicze są wyjęte). Widzimy transformator wysokiego napięcia oraz po jego bokach 4 transformatorki żarzeniowe do lamp prostowniczych. Piąty transformatorek (z lewej strony u góry) zasila lampę rentgenowską. Rys. 2 podaje fotografię takiego transformatorka. Jak widać, izolacją pomiędzy uzwojeniami jest porcelana.

Stoliki rozdzielcze

Stoliki rozdzielcze bywają wykonywane w kształcie stolików na kółkach lub jako pionowe tablice. W pierwszej grupie mamy do czynienia ze stolikami posiadającymi pulpit kontrolny umieszczony bądź w jednej płaszczyźnie (rys. 3), bądź w dwu płaszczyznach (rys. 4). Rys. 5 podaje widok pulpitu stolika z rys. 3. U góry widzimy kolejno trzy przyrządy pomiarowe: ślepy woltomierz do sprawdzania napięcia linii zasilającej, miliamperomierz do małego ogniska i miliamperomierz do dużego ogniska lampy. Pod przyrządami pomiarowymi znajdują się gałki regulatorów i nastawników. W górnym rzędzie na lewo mamy regulator napięcia linii. Po naciśnięciu przycisku z prawej strony tego regulatora

pozwalają na wykonanie zdjęć przy 20, 60 i 100 mA (bez użycia amperomierza). Pozostałe dwa położenia włączają odpowiednio małe ognisko lampy oraz miliamperomierz do 25 mA, lub duże ognisko i miliamperomierz do 100 mA. W obu ostatnich położeniach wielkość prądu regulujemy opornikiem, umieszczonym w górnym rzędzie z prawej strony. Jeśli chcemy w czasie zdjęcia posługiwać się ruchomą przysłoną Bucky, to musimy wyciągnąć rączkę umieszczoną z lewej strony regulatora prądu. Wreszcie w dolnym rzędzie pulpitu mamy gałki regulatorów napięcia. Regulacja ta wykonywana jest zaczepowo przez autotransformator umieszczony w obwodzie pierwotnym głównego transformatora. Z lewej strony mamy dwie gałki. Lewą regulujemy napięcie co 10 kV, prawą co 1 kV. Obie one służą do regulacji napięcia przy naświetlaniach i prześwietlaniach, a więc przy prądzie 5 mA. Prawy zespół gałek służy do takiej samej regulacji napięcia przy zdjęciach, a więc przy prądach od 20 do 100 mA. Podział regulacji napięcia na dwa obwody spowodowany jest różnicą spadków napięć przy różnych prądach (5 i 100 mA). Spadki te są kompensowane przez regulatory. W środku u dołu mamy jeszcze główny wyłącznik. Zdjęcie wykonywane jest wyłącznikiem ręcznym, niewidocznym na rysunku.

Na rys. 3 i 5 pokazany był stolik aparatu na 100 mA. Rys. 4 pokazuje stolik aparatu na 200 mA. Posiada on takie same obwody regulacyjne. Wewnątrz wszystkich stolików umieszczane są wszelkie opory regulacyjne oraz autotransformator (widoczny na rys 4).



Rys 9. Stół aparatu polowego (Picker)

gulator działa w taki sam sposób jak w stolikach opisanych wyżej. W dolnej części pulpitu znajduje się z lewej strony regulator zaczernienia filmów. Można nim zmieniać co 10% zaczernienie filmu od 0,3- do 2-krotnego zaczernienia normalnego. Regulator ten działa przyśpieszająco lub opóźniająco na zegar aparatu. W środku mamy regulator napięcia. Skala jego jest jednak wzorcowana nie w kilowoltach, lecz w centymetrach grubości ciała. Regulator napięcia połączony jest z autotransformatorem. Posiada on 40 stopni regulacji dla zdjęć oraz 8 dla terapii. Z prawej strony u dołu mamy poza tym przełącznik do wyboru ogniska lampy. Jego kolejne położenia (poczynając od skrajnego lewego) są następujące: zdjęcie robione przy użyciu ekranów wzmacniających, małe ognisko — duże ognisko lampy, zdjęcie robione z ekranem i przysłoną Bucky, małe ognisko — duże ognisko lampy. Wyłącznik ten poza tym włącza zabezpieczenie nadmiarowe, chroniące oba ogniska lampy przed przeciążeniem.

Stoliki rozdzielcze, jak wszystkie części aparatów rentgenowskich, nie są wykonywane masowo, seryjnie. W miarę napływania zamówień wykonywa się je grupowo. Szkielet stolika i jego obudowa wykonywane są z blachy stalowej. Autotransformator, znajdujący się wewnątrz, jest nawijany w taki sposób, jak uzwojenie pierwotne transformatora

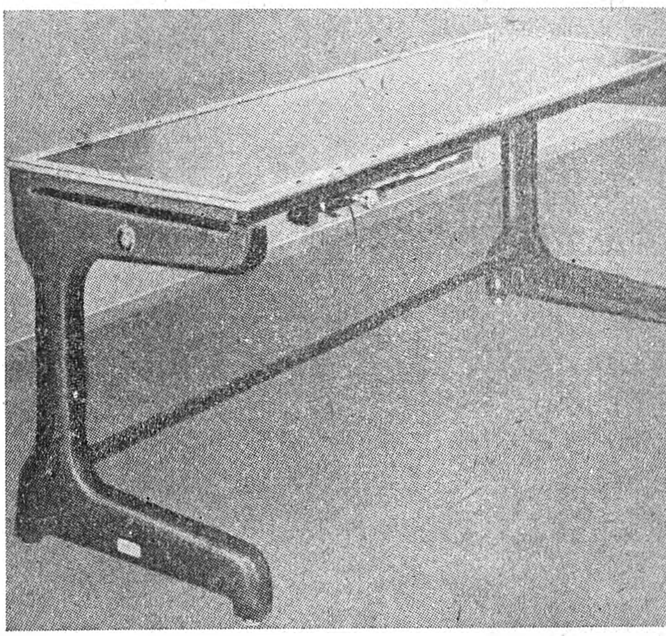
Rys. 6 jest przykładem wyrobów angielskich, bardziej skomplikowanych i cięższych w budowie niż amerykańskie. Podaje on widok pulpitu angielskiego aparatu na 100 mA.

Pulpity pionowe bywają stosowane głównie w aparatach większych mocy oraz w aparatach terapeutycznych, które będą omówione osobno. Pulpity pionowe mogą być zmontowane jako wolnostojące lub przymocowane do ściany. W ostatnim przypadku są one bądź umieszczane na ścianie, bądź częściowo w nią wpuszczane, bądź też całkowicie w niej schowane.

W Ameryce istnieje silna tendencja do wprowadzania jak najdalej idącej automatyzacji obsługi aparatów rentgenowskich. Ciekawym rozwiązaniem w tej dziedzinie jest pulpit pionowy aparatu na 200 mA firmy Kelley-Koett (rys. 7). Zasadą działania tego urządzenia jest to, że osoba wykonywająca zdjęcia aparatem „techron" nie potrzebuje posługiwać się wykresami wzorcowniczymi aparatu przy wyborze czasu i napięcia do zdjęcia, lecz po zmierzeniu grubości prześwietlanego obiektu od razu na pulpicie nastawia żądane wielkości. W tym celu w środku górnej części pulpitu jest gałka, którą przesuwa się w pozycję odpowiadającą prześwietlanej części ciała. Obok na skali są wypisane części ciała i płaszczyzny, w których robi się zdjęcia. Odpowiednio do tego podane są odległości, w których należy umieścić lampę przy zdjęciu, numer tubusa, który należy zastosować, a także czas, na który należy nastawić przysłonę Bucky; przez ustawienie gałki w odpowiedniej pozycji ustalamy czas zdjęcia. Z lewej strony górnej części mieści się główny wyłącznik. W swym lewym położeniu przełącza on aparat na 5 mA i przystosowuje go do wykonywania prześwietlań i naświetlań. W zależności od prześwietlanej części ciała nastawione jest napięcie. W położeniu środkowym aparat jest wyłączony. Położenie prawe pozwala nam na wykonywanie zdjęć. Pod wyłącznikiem gównym umieszczony jest regulator żarzenia działający tylko wówczas, gdy wyłącznik główny znajduje się w położeniu prawym. Regulatorem tym możemy nastawiać prąd w granicach od 3 do 8 mA. Z prawej strony pulpitu umieszczony jest regulator napięcia linii i woltomierz. Re-

U dołu

Rys. 10. Stół nieruchomy (Kelley-Koett)



głównego. Zaczepy wykonywane są drutem lub płaską linką. Oporniki poszczególnych obwodów regulacyjnych firma kupuje gotowe, styczniki regulatorów wykonywa na miejscu; zegary mechaniczne nabywa się zazwyczaj w największej fabryce zegarów Liebel-Flarsheim w Cincinnati, zegary zaś synchroniczne i lampowe wykonywa się na miejscu. Połączenia pomiędzy poszczególnymi elementami

stolika wykonywane są w sposób dwojaki: 1) indywidualnie od punktu do punktu (stosuje się, czasem różnokolorowe przewody dla różnych obwodów), 2) w formie wiązek, utworzonych przez uprzednie powyginanie przewodów na szablonie i umieszczonych we właściwym miejscu stolika; końcówki pasują do odpowiednich zaczepów. Drugi sposób znacznie przyśpiesza i ułatwia montaż.

Po zmontowaniu stolik, podobnie jak transformatory, poddaje się szeregowi prób wzorcowniczych. Transformatory podlegają próbom napięciowym przy 1,25 U_n (do pomiarów używa się iskierników kulowych) oraz prądowym (obciążenie nominalne przez kilka godzin). W stolikach kontrolnych bada się prawidłowość działania poszczególnych obwodów. Pewność działania sprawdzana jest przez wielokrotne powtarzanie danej czynności.

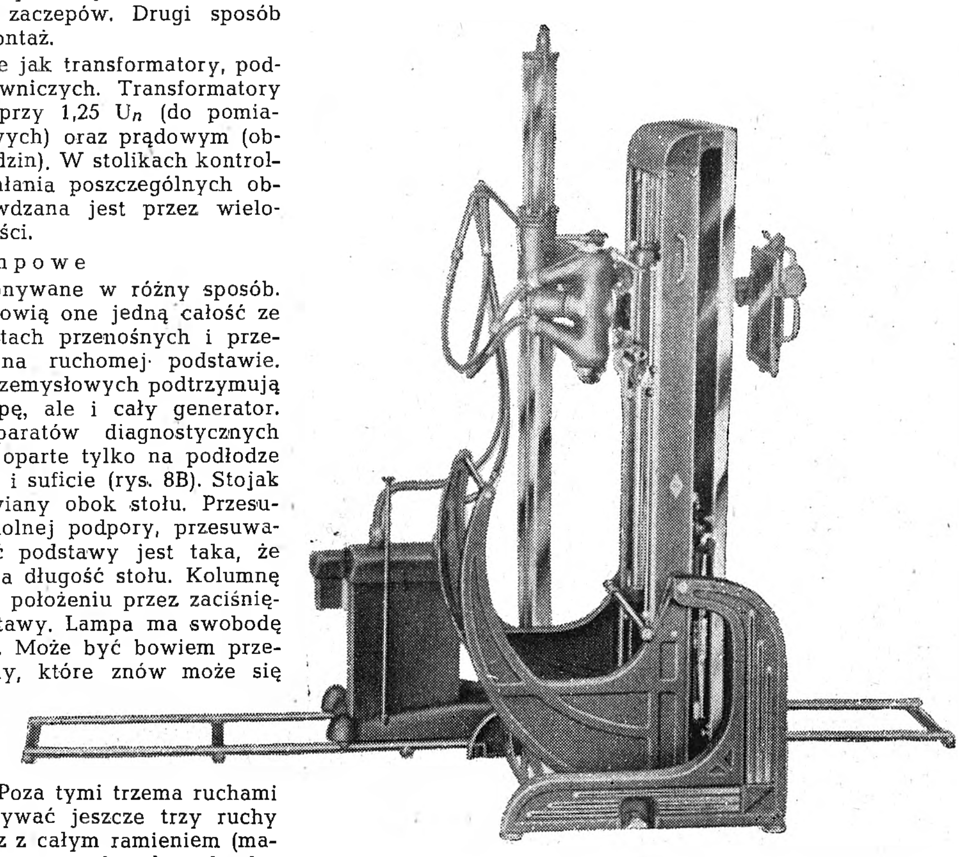
Stojaki lampowe

Stojaki lampowe bywają wykonywane w różny sposób. W aparatach dentystycznych stanowią one jedną całość ze stolikiem rozdzielczym. W aparatach przenośnych i przewoźnych zmontowane są one na ruchomej podstawie. W aparatach terapeutycznych i przemysłowych podtrzymują one czasem nie tylko samą lampę, ale i cały generator. Stojaki lampowe większych aparatów diagnostycznych (100—500 mA) bywają dwojakie: oparte tylko na podłodze (rys. 8A) lub wsparte na podłodze i suficie (rys. 8B). Stojak typu pierwszego (A) bywa ustawiany obok stołu. Przesuwając kolumnę stojaka wzdłuż dolnej podpory, przesuwamy lampę wzdłuż stołu. Długość podstawy jest taka, że w zasięgu lampy znajduje się cała długość stołu. Kolumnę można unieruchomić w dowolnym położeniu przez zaciśnięcie gałki, widocznej u góry podstawy. Lampa ma swobodę ruchu również i w poprzek stołu. Może być bowiem przesuwana wzdłuż ramienia kolumny, które znów może się przesuwać w górę i w dół po kolumnie. Pod dolnym łożyskiem ramienia widoczna jest gałka, której zaciśnięcie unieruchamia ramię na kolumnie. Poza tymi trzema ruchami postępowymi lampa może wykonywać jeszcze trzy ruchy obrotowe: 1) dokoła kolumny wraz z całym ramieniem (mamy przez to możność usunięcia lampy znad stołu, gdy dokonywamy prześwietleń), 2) wraz z ramieniem dokoła jego osi i wreszcie 3) sam kołpak lampy może się obracać dokoła swej osi. Mamy więc całkowitą swobodę ruchów i lampę możemy ustawić w dowolnym położeniu. W każdym położeniu można również unieruchomić wszystkie części ruchome stojaka i lampy.

Wszystkie części, po których przesuwa się kolumna, ramię i kołpak lampy wykonane są z rur stalowych chromowanych i polerowanych. Reszta części wykonana jest z odlewów żeliwnych. Niektóre fabryki stosują odlewy aluminiowe lub magnezowe celem zmniejszenia wagi. Wszystkie części ruchome osadzane są na łożyskach kulkowych.

Zaletą tego rodzaju budowy stojaka lampowego jest łatwość w przenoszeniu go i ustawianiu, a co za tym idzie szybkość montażu. Cechuje go natomiast mniejsza sztywność w porównaniu ze stojakiem wspartym na podłodze i suficie. Jak widać z rys. 8 B, kolumna stojaka wsparta jest na dole na szynie, przymocowanej do podłogi, na górze zaś na innej szynie, umocowanej na suficie. Stojak ten posiada o jeden mniej stopień swobody ruchów, gdyż nie można ramienia obracać wokół kolumny. Chcąc usunąć lampę znad stołu, przesuwamy ją poza stół w jednym lub drugim kierunku. W tym rozwiązaniu kolumna może przesuwać się w większych granicach. Zwiększenie drogi kolumny wymaga dodania odpowiedniej długości szyn, co nie jest związane z dużymi kosztami. Kolumna oparta w dwu punktach zapewnia większą sztywność. Dalszą zaletą tego rozwiązania jest to, iż przestrzeń wokół stołu jest wolna. Mamy więc dostęp do stołu z każdej strony. Dalej można lampę odsunąć na dalszą odległość od stołu. Rozwiązanie to jednak pociąga za sobą również pewne niewygody. Stojak taki jest trudniejszy w montażu. Po zainstalowaniu nie można go już więcej przesuwać. Bywa on stosowany zazwyczaj w większych szpitalach, gdyż poza wszystkim jest on droższy.

Produkcja stojaków lampowych jest zagadnieniem czysto mechanicznym. Fabryki aparatów rentgenowskich z reguły kupują gotowe odlewy. Pozostałe części wykonywa się na miejscu w fabryce. Całość jest montowana grupowo.



Rys. 11. Stół obrotowy bez napędu korbowego przygotowany do prześwietlań (Fisher)



Rys. 12. Stół w położeniu pionowym (Kelley-Koett)

Większe stojaki lampowe są z reguły równoważone przeciwwagą ołowianą, umieszczoną wewnątrz kolumny. Stojaki aparatów przenośnych i przewoźnych posiadają przeciwwagę sprężynową. Na ten sam stojak można zakładać różne lampy o różnych ciężarach. Wymaga to dodatkowego zrównoważania stojaka. Wykonywamy to przez doczepienie z tyłu do kolumny dodatkowych ciężarków. Ruchy ramienia nie są równoważone. Sam kołpak zazwyczaj nie daje się wyważyć, gdyż kable odchodzące od niego (widoczne na rys. 8B) powodują przechylanie się go - w jedną stronę.

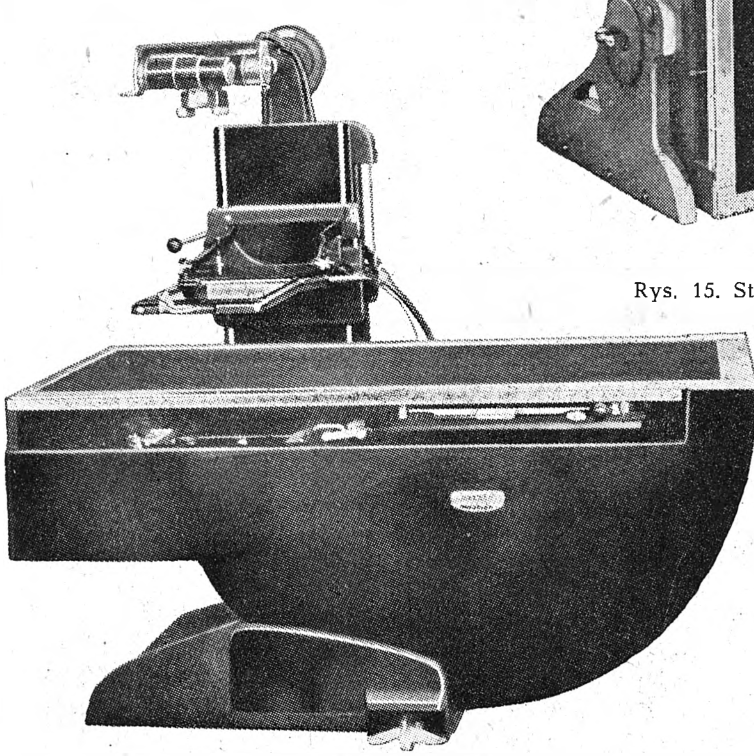
Stojaki lampowe są zaopatrzone w skale, wskazujące zarówno położenie podłużne, jak i poprzeczne lampy nad stołem. Na kolumnie znajduje się również skala, określająca wysokość lampy nad stołem. Dalsze skale wskazują kąt nachylenia samej lampy i ramienia stojaka.

Stojaki posiadają specjalne wieszaki, na których są zamocowywane kable.

Stoły

Stoły stosowane łącznie z aparatami rentgenowskimi bywają wykonywane w różnych odmianach: od najprostszego stojaka do ustawiania na nim noszy poprzez zwykłe stoły nieruchome aż do elektrycznie poruszanych stołów, przystosowanych do aparatów dwulampowych.

Stół stosowany w aparatach polowych (rys. 9) stanowi właściwie stojak, na którym umieszcza się nosze z osobą prześwietlaną. Równocześnie jest on stojakiem lampowym.



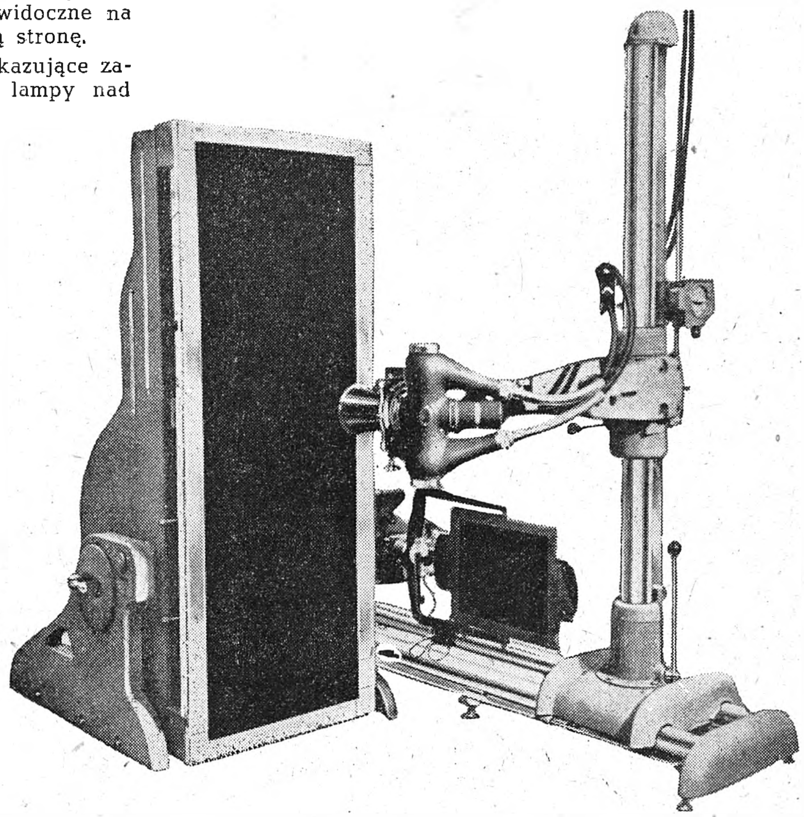
Rys. 13. Stół obrotowy z napędem elektrycznym (Westinghouse)

Najprostszym stołem w pełnym tego słowa znaczeniu jest stół nieruchomy, pokazany na rys. 10. Może on być używany do każdego aparatu rentgenowskiego. Bywa jednak używany najczęściej łącznie z aparatem przewoźnym, gdyż aparaty większe posiadają zazwyczaj swoje stoły uniwersalne. Jak widać, stół posiada przysłonę Bucky.

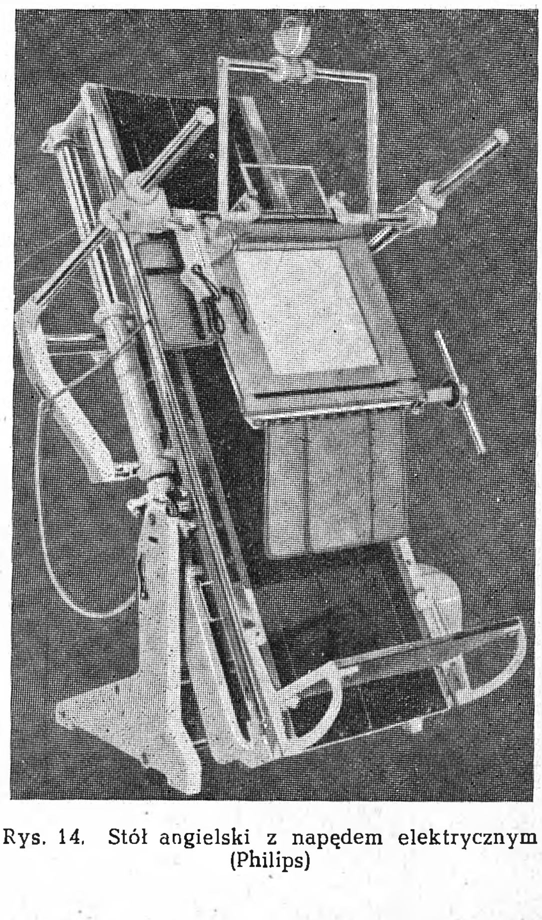
Następnym, bardziej wszechstronnym, typem stołu jest stół obrotowy, pokazany na rys. 11. Stół ten może zmieniać swoją pozycję od pionowej poprzez poziomą do pozycji Trendelenburga. Zmiany odbywają się skokami co 15°. Stół ten nie posiada napędu korbowego i zmiany położenia muszą być wykonywane bez pacjenta. Stół jest tak wyważony, iż zmian tych można dokonać bez wysiłku.

Stoły wymienione dotychczas nie były połączone ani z lampą ani z ekranem fluoryzującym. Bywały one stosowane bądź z aparatami głowicowymi, bądź też ze stojakami, na których zawieszona jest lampa w kołpaku olejowym oraz ekran.

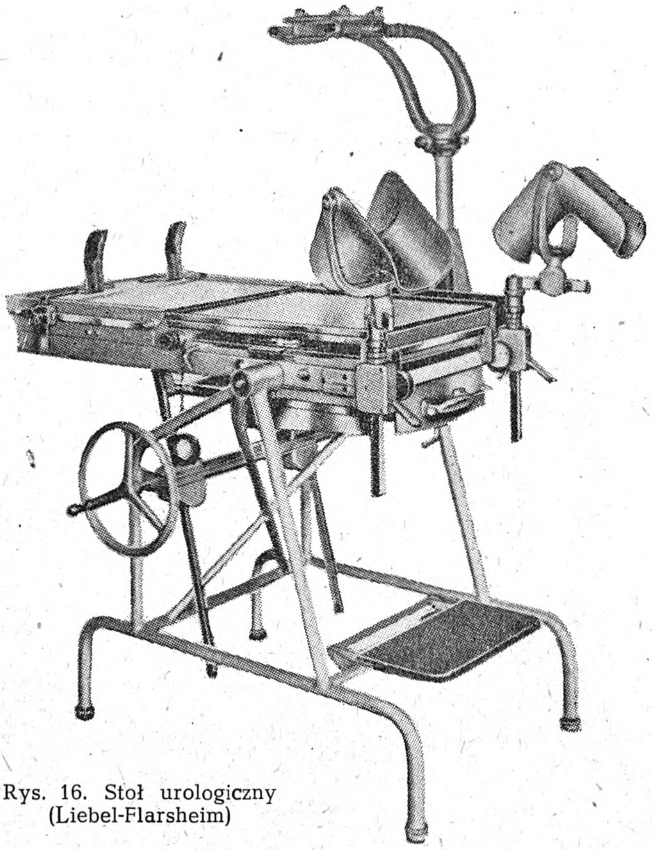
Dalszym, lepszym rozwiązaniem stołu obrotowego jest stół z napędem korbowym. W urządzeniu takim położenie stołu



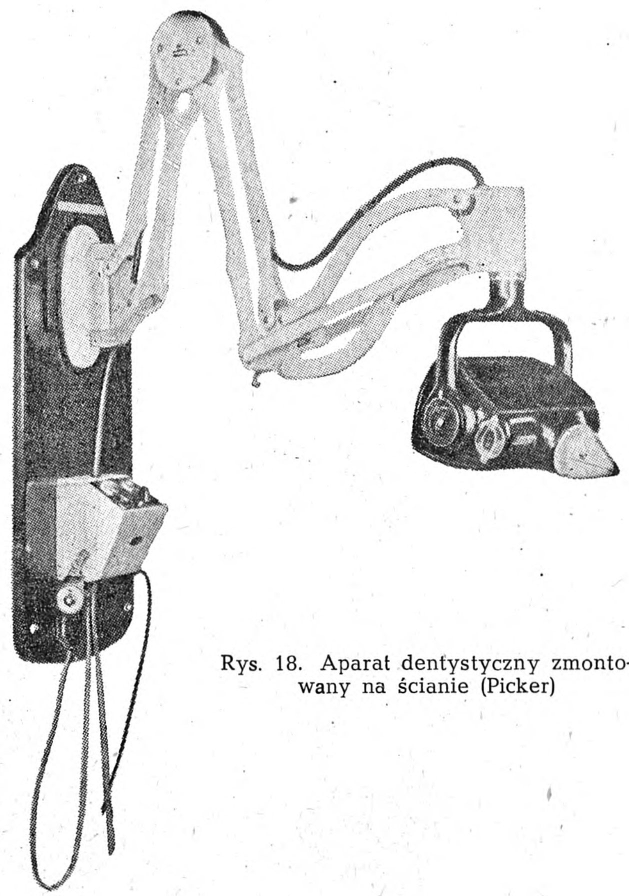
Rys. 15. Stół dwulampowy w pozycji pionowej (Philips)



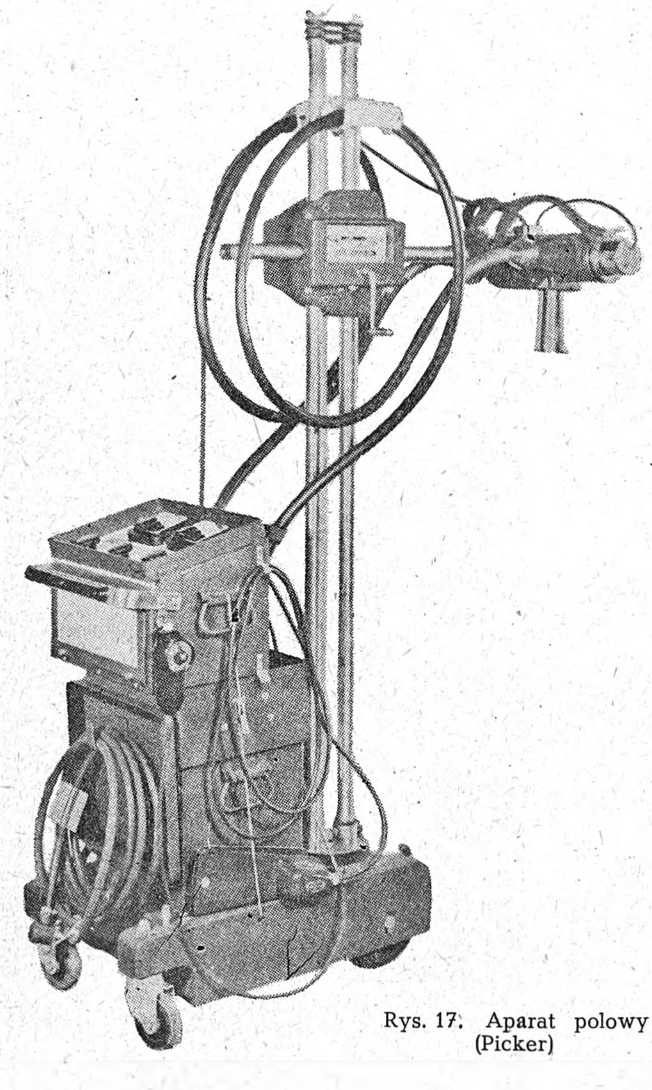
Rys. 14. Stół angielski z napędem elektrycznym (Philips)



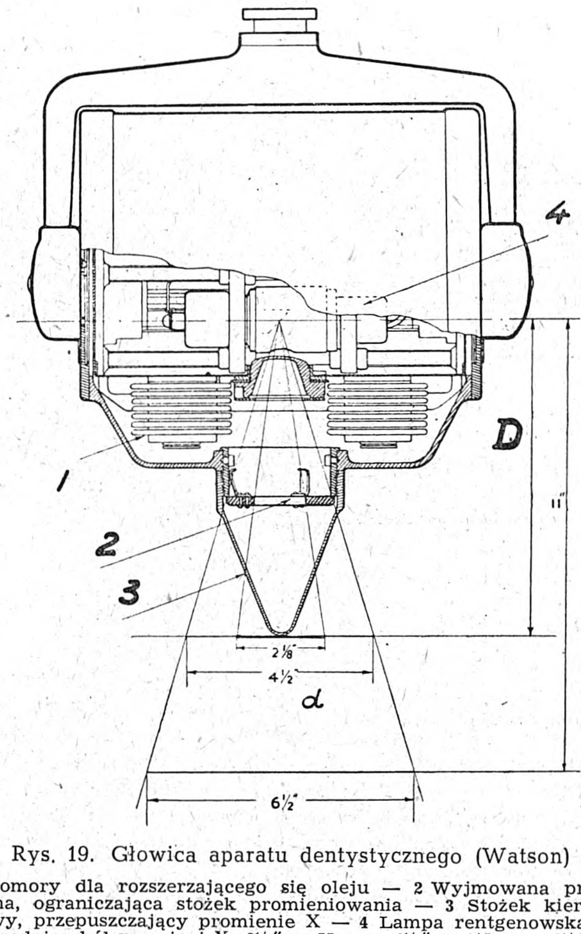
Rys. 16. Stoł urologiczny (Liebel-Flarsheim)



Rys. 18. Aparat dentystyczny zmontowany na ścianie (Picker)



Rys. 17. Aparat polowy (Picker)



Rys. 19. Głowica aparatu dentystycznego (Watson)

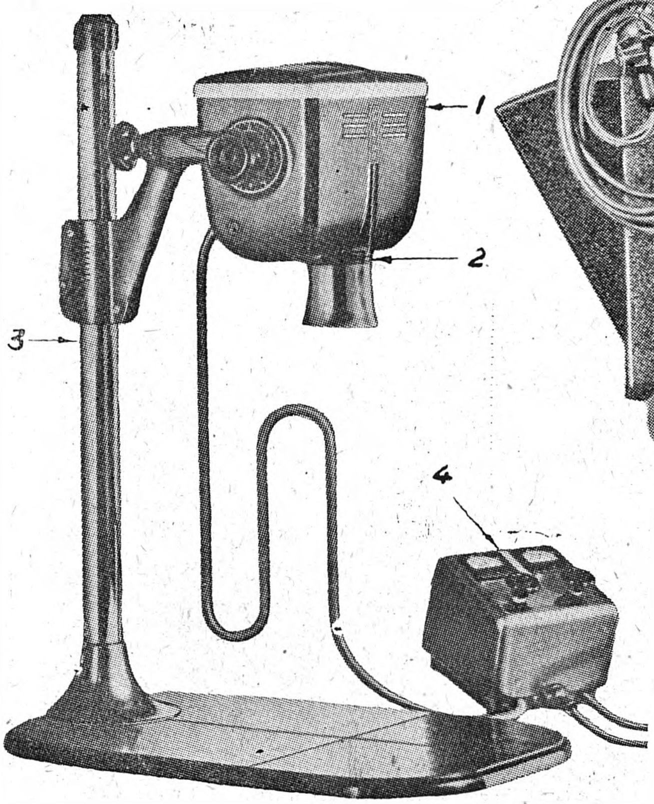
1 Komory dla rozszerzającego się oleju — 2 Wyjmowana przysłona, ograniczająca stożek promieniowania — 3 Stożek kierunkowy, przepuszczający promienie X — 4 Lampa rentgenowska — d Średnice kół promieni X: $2^1/_8''$ = 55 mm, $4^1/_2''$ = 115 mm, $6^1/_2''$ = 165 mm — D odległość od anody do filmu: $7^3/_4''$ = 195 mm, 11" = 280 mm.

możemy zmieniać w sposób ciągły od położenia Trendelenburga do pionowego przez pokręcanie korby umieszczonej z boku stołu. W wykonaniu jednolampowym stół taki posiada stojak lampowy w postaci obrotowego ramienia, umocowanego bezpośrednio do stołu. Poza tym do stołu przymocowany jest również ekran fluoryzujący.

Prześwietlenie może być wykonywane w każdej dowolnej pozycji. Pokręcając korbą z boku stołu, możemy go doprowadzić do położenia pionowego (rys. 12). Model ten jest prosty i oszczędny, gdyż pozwala na wykonywanie zdjęć i prześwietleń przy pomocy jednej tylko lampy. Wadą tego urządzenia jest mała stosunkowo sztywność lampy, gdyż jest ona przymocowana do stołu. Może to ujemnie odbić się na ostrości zdjęć.

Napęd korbowy można zastąpić napędem elektrycznym (silnikowym). Wówczas zamiast korby mamy dwa pedały, umieszczone na podstawie stołu (rys. 13).

Znacznie lepszym rozwiązaniem od opisanych powyżej jest zastosowanie oddzielnego stojaka lampowego (rys. 8, A i B). Wówczas przy wykonywaniu zdjęć lampa oddzielona jest od stołu i drgania stołu nie przenoszą się na lampę. Chcąc wykonywać prześwietlenia, lampę przeprowadzamy w położenie pokazane na rys. 11. Przy zmianie położenia stołu lampa przesuwa się wzdłuż kolumny stojaka, sam zaś stojak przesuwa się wzdłuż szyn. Połączenie lampy ze stołem odbywa się w sposób szybki i prosty przez zamocowanie śrubami kołpaka lampy do przysłony ołowianej, umieszczonej pod stołem i sprzężonej z ekranem fluoryzującym.



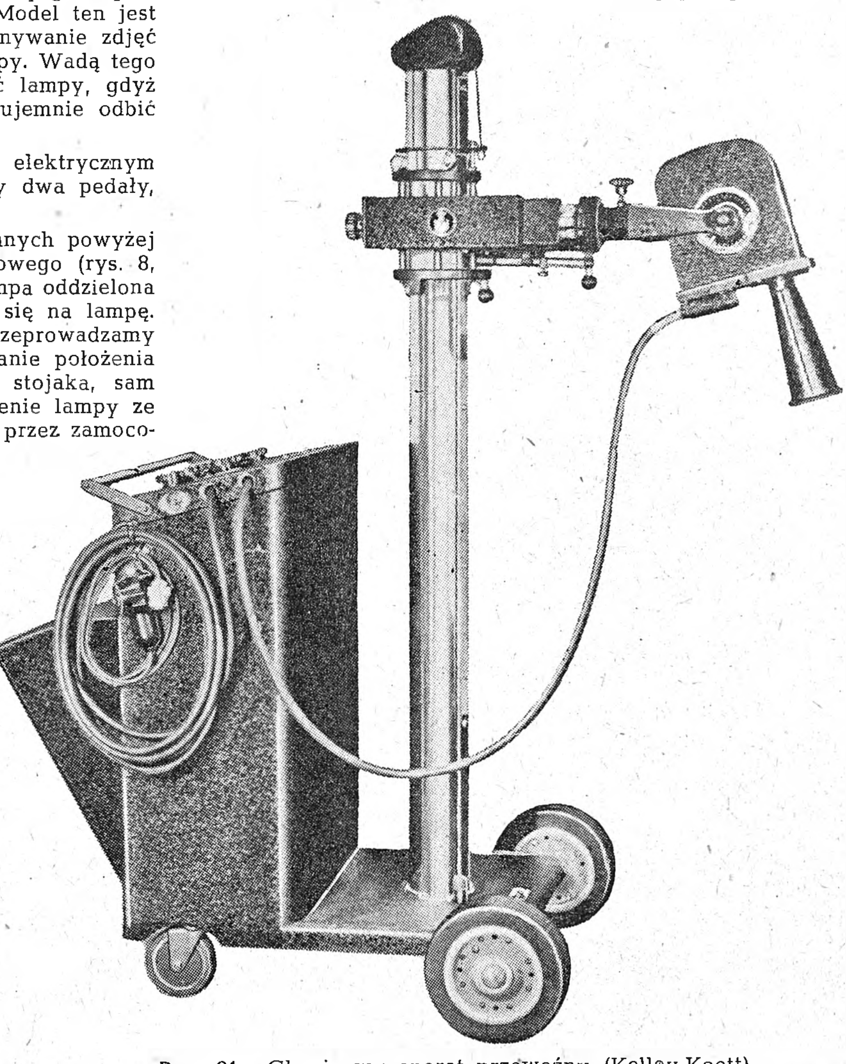
Rys. 20. Aparat przenośny (Philips)

1 Zdejmowana głowica z przeciwwagą; pełnoochronna lampa i transformator pogrążone w oleju — 2 80 kVmax, 20 mA — 3 Powierzchnia chromowana — 4 10-stopniowy regulator napięcia, skale oświetlone, regulator prądu.

Rys. 14 pokazuje stół obrotowy angielski, napędzany elektrycznie. Odznacza się masywnością: rzuca się w oczy duży ekran osadzony na dwu pionowych kolumnach z obu stron stołu. Ekran ten umocowany jest na przeciwwadze na suficie. Może on być odczepiany do wykonania zdjęć.

Niewątpliwie najlepszym, chociaż najkosztowniejszym jest stół obrotowy stosujący dwie lampy: jedną do zdjęć, drugą do prześwietleń. Lampa do zdjęć, często z wirującą anodą, umieszczona jest na oddzielnym stojaku, podczas gdy lampa do prześwietleń umieszczona jest pod stołem. Ruchy jej są sprzężone z ruchami ekranu. Rys. 15 podaje widok takiego stołu w pozycji przystosowanej do zdjęć pionowych.

Całkowicie inną konstrukcję posiadają stoły urologiczne Są to właściwie stoły chirurgiczne przystosowane do wykonywania na nich zdjęć rentgenowskich. Poza wszystkimi akcesoriami potrzebnymi do zwykłej praktyki urologicznej stół taki posiada ruchomą przysłonę Bucky pod powierzchnią stołu. Poza tym do stołu przymocowany jest stojak lampowy. Zamocowany jest on obrotowo; skutkiem tego można wykonywać zdjęcia pod dowolnym kątem do powierzchni stołu. Rys. 16 podaje widok takiego stołu. Z tyłu widoczny jest stojak lampowy bez lampy. Jest to wykonanie firmy Liebel-Flarsheim Co. w Cincinnati. Jest to jedna z największych firm produkujących stoły urologiczne.

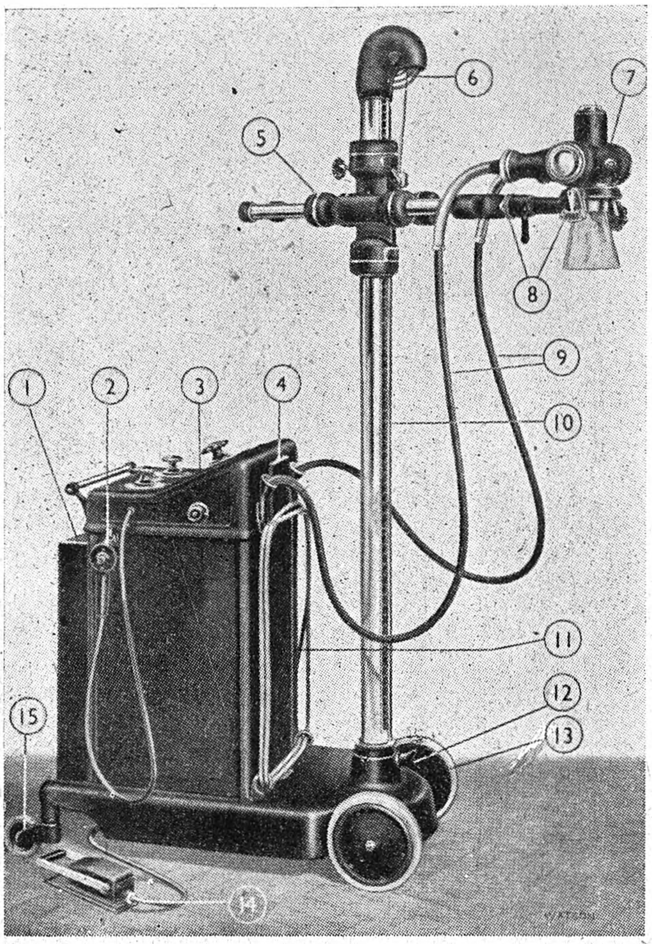


Rys. 21. Głowicowy aparat przewoźny (Kelley-Koett)

Produkcja stołów, podobnie jak produkcja stojaków lampowych jest zagadnieniem mechanicznym i opiera się na tych samych zasadach. Fabryki zakupują gotowe odlewy poszczególnych części, obrabiają je u siebie i montują. Niektóre firmy stosują odlewy magnezowe na podstawy stołów. Zmniejszenie wagi uzyskane przez to jest korzystne ze względu na transport i łatwość ustawiania stołu. Traci się jednak na sztywności tak bardzo pożądanej przy wykonywaniu zdjęć. Sam montaż stołu odbywa się przeważnie w ten sposób, iż po obrobieniu części składa się osobno podstawę stołu i osobno górną jego część zawierającą przysłonę Bucky. Tę z reguły nabywa się od fabrykanta przysłon (najczęściej Liebel-Flarsheim). Po złożeniu i zmocowaniu obu części stołu wykonywa się połączenia elektryczne.

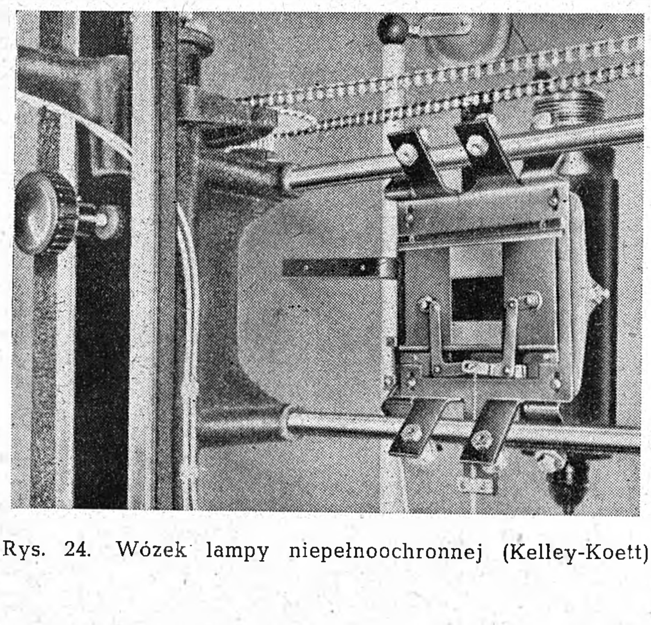
Samo wykonanie górnej części stołu nastręcza pewne trudności. Warunki czystości wymagają, aby powierzchnia ta była całkowicie płaska, co pozwala na łatwe usuwanie zanieczyszczeń. Dalej materiał, z którego wykonany jest wierzch stołu, winien posiadać jak najmniejszy spółczynnik

pochłaniania i rozpraszania promieni X. Warunek pierwszy pociąga za sobą konieczność zmniejszenia grubości, jednakże względy mechaniczne kładą temu pewne granice. Przeważnie wierzch stołu wykonany jest z tafli bakelitowej lub też z drzewa bakelizowanego.



Rys. 22. Aparat przewoźny kołpakowy (Watson)

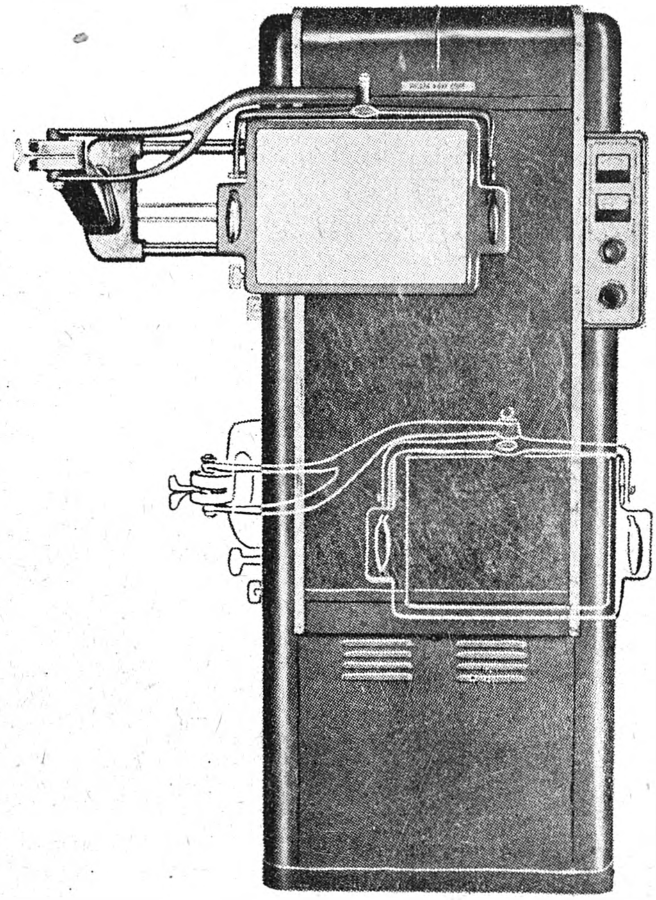
1 Schowek na filmy 2 Ręczny zegar, pozwalający na wykonywanie zdjęć w granicach od 1 do 8 sek. 3 Pulpit stolika rozdzielczego. Wewnątrz stolika znajduje się transformator w układzie samoprostującym 4 Tabela zdjęć 5 Ułożyskowanie ramienia lampy 6 Sprężynowa przeciwwaga lampy 7 Kołpak olejowy lampy 8 Wskaźniki kąta nachylenia lampy 9 Kable wysokiego napięcia 10 Podziałka, wskazująca odległość lampy od filmu 11 Przewody łączące aparat z linią 12 Gałka unieruchamiająca obrót kolumny 13 Koła podstawy 14 Nożny wyłącznik do prześwietlań 15 Tylne kółko, ułatwiające obrót aparatu



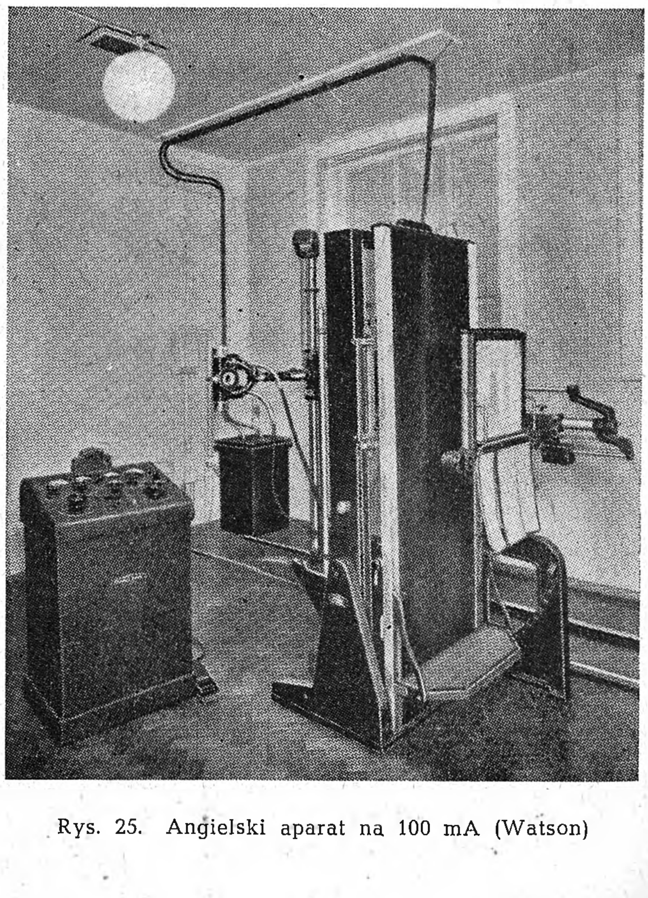
Rys. 24. Wózek lampy niepełnoochronnej (Kelley-Koett)

Aparaty diagnostyczne

W grupie tej znajduje się cały szereg odmian, począwszy od aparatów głowicowych w układzie samoprostującym, a skończywszy na aparatach dwulampowych w układzie



Rys. 23. Pionowy fluoroskop niepełnoochronny (Picker)



Rys. 25. Angielski aparat na 100 mA (Watson)

z czterema kenotronami. Omówimy kolejno aparaty typowe, pomijając konstrukcje specjalne, jak kymografy, tomografy i inn.

Aparat polowy. Model stosowany w armii amerykańskiej widzieliśmy na rys. 9. Nieco inną odmianę tego aparatu pokazuje rys. 17. Widzimy, iż aparat ten składa się z transformatora, z którym bezpośrednio połączona jest lampa rentgenowska przy pomocy kabli wysokiego napięcia. Mamy tu więc do czynienia z układem samoprostującym. Transformator daje napięcie w granicach od 30 do 100 kV_{max} prąd 30 mA przy 85 kV_{max}. Do prześwietleń używamy 5 mA przy 85 kV_{max}, do naświetlań zaś 4 mA przy 100 kV_{max}

Aparat dentystyczny. Jest to najprostszy i najmniejszy typ z kategorii aparatów diagnostycznych. Wykonywa go się jako przewoźny lub do zmontowania na ścianie (rys. 18). Aparaty te wykonane są jako głowicowe. W głowicy znajduje się transformator wysokiego napięcia, transformatorek żarzeniowy i lampa. Całość zanurzona jest w oleju. Częściowy przekrój głowicy, pokazujący położenie lampy w głowicy, podaje rys. 19. Lampa taka daje 15 mA przy 70 kV_{max}. Jest to lampa jednoogniskowa o wymiarach ogniska 1,2 mm.

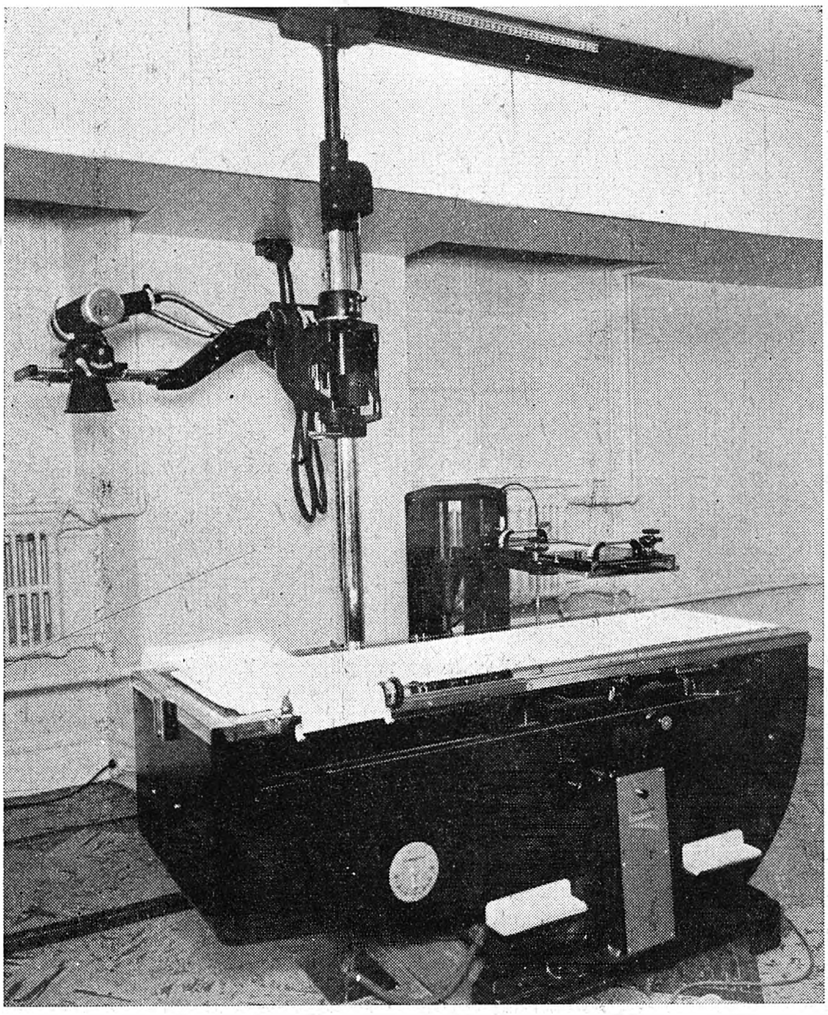
Aparaty przenośne. Wykonywa je się jako składane w ten sposób, iż całość może zmieścić się w dwu walizkach. Są to, oczywiście, aparaty głowicowe. Rys. 20 podaje widok takiego aparatu. Widzimy, iż składa się on z bardzo prostego stojaka lampowego, głowicy i pulpitu rozdzielczego. Na pulpicie mamy woltomierz, amperomierz oraz regulator prądu i 10-stopniowy regulator napięcia.

Aparaty przewoźne. Można je podzielić na aparaty głowicowe i kołpakowe. Aparat pierwszego typu pokazany jest na rys. 21.

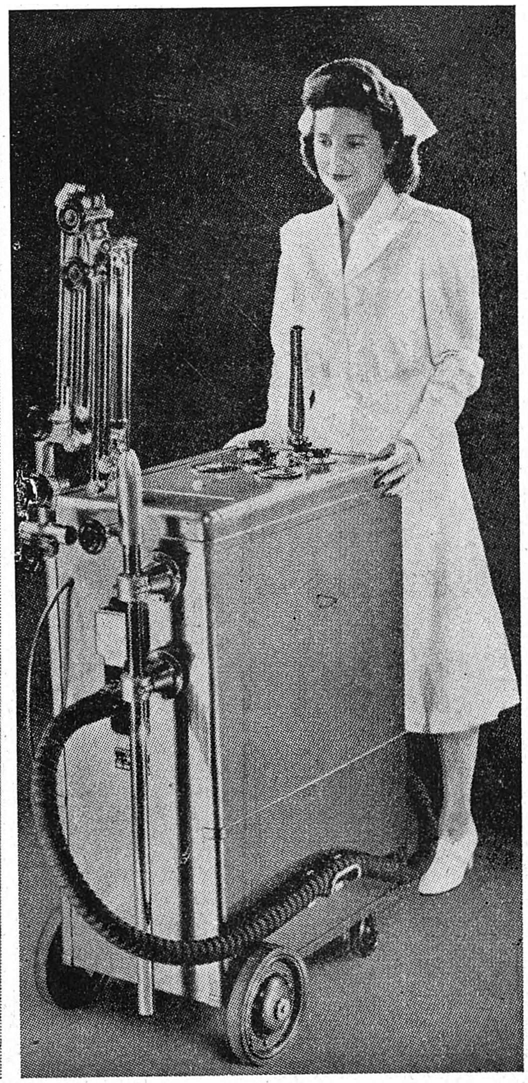
Jak widzimy, stolik rozdzielczy, stojak lampowy i głowica umieszczone są na wspólnej podstawie. Głowica tego aparatu posiada transformator dający 15 mA przy 90 kV_{max} lub 30 mA przy 80 kV_{max}. Lampa olejowa o takiej wydajności ma ognisko o wymiarach 2,3 mm.

Aparat przewoźny z lampą olejową w kołpaku pokazany jest na rys. 22. Jest to aparat angielski. Transformator daje 60 mA przy 43 kV_{max} lub 40 mA przy 95 kV_{max}. Lampa posiada ognisko o wymiarach 3,2 mm.

Pionowe fluroskopy (ścianki płucne). W tej grupie rozróżniamy trzy zasadnicze typy. Najprostszy z nich przedstawiony jest na rys. 23. Cały aparat zawarty jest w blaszanej skrzyni. Wewnątrz skrzyni umieszczony jest transformator. Daje on zazwyczaj 85 kV_{max}, 10 mA. Wewnątrz skrzyni znajduje się również lampa. Jest to lampa z izolacją powietrzną, niepełnoochronna. Połączenia transformatora z lampą wykonane są przy pomocy zwykłych przewodów izolowanych. Lampa umocowana jest na wózku, pokazanym na rys. 24. Wózek ten zawiera przysłonę, sterowaną z zewnątrz przy pomocy linek zakończonych dźwigniami, umieszczonymi na ramie ekranu fluoryzującego. Ruch wózka lampy sprzężony jest z ruchem ekranu. Skutkiem tego środkowy promień lampy pada zawsze na środek ekranu. Na rys. 23 pokazano, w jakich granicach może poruszać się ekran. Poza tym ekran posiada dwa ruchy obrotowe: można go odchylać (obrót wokół osi pionowej na początku ramienia) oraz można go obracać wokół jego własnej osi pionowej.



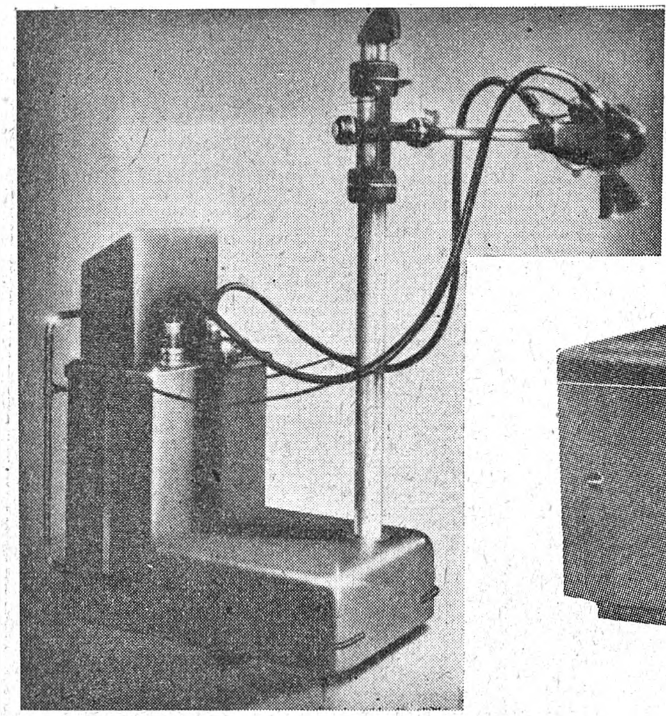
Rys. 26. Aparat na 200 mA (Westinghouse)



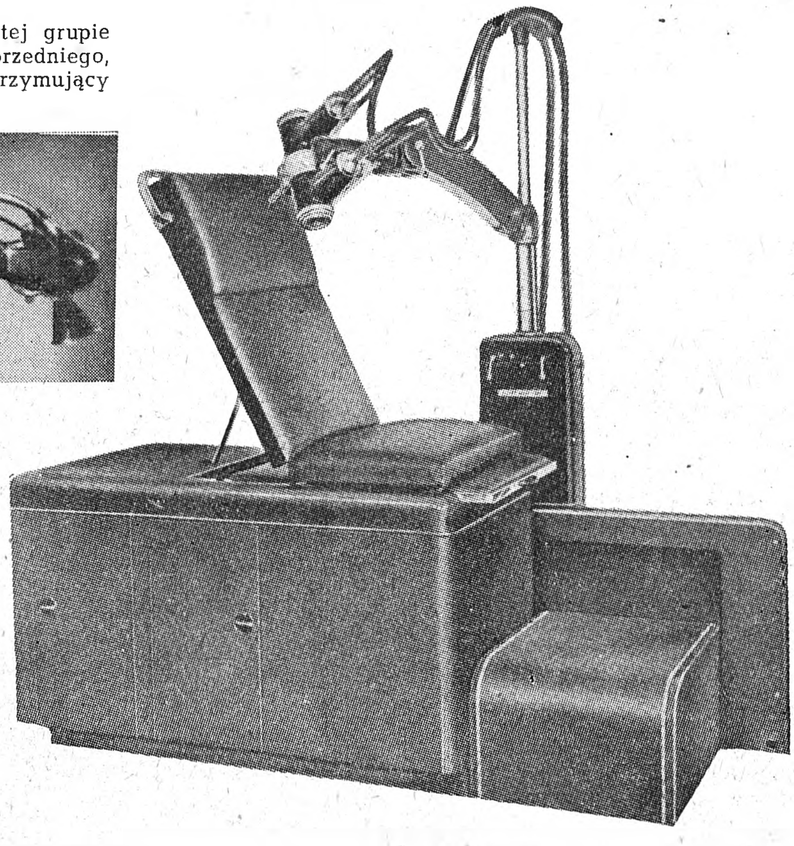
Rys. 27. Aparat do terapii stykowej (Philips)

Opisywany aparat nadaje się jedynie do prześwietleń. Pracuje on wówczas przy 5 mA. Zazwyczaj aparaty takie posiadają zegar sumujący, którego działanie polega na tym, iż aparat samoczynnie wyłącza się z chwilą, gdy prześwietlenie pacjenta przekroczy dopuszczalny czas (np. 5 min). Czasami aparaty te są zaopatrzone w uchwyt na kasetę. Chcąc zrobić zdjęcie, umieszczamy kasetę za ekranem. Musimy jednak dołączyć do aparatu zegar, którego aparat w zwykłym wykonaniu nie posiada, gdyż ma on jedynie wyłącznik nożny do fluoroskopii.

Następnym, nieco lepszym typem aparatu w tej grupie jest aparat głowicowy. Różni się on tym od poprzedniego, iż ścianka służy tutaj jedynie jako stojak, podtrzymujący z jednej strony ekran, z drugiej głowicę rentgenowską. Ruch ekranu i głowicy jest sprzężony. Poza tym jednak głowica posiada swobodę ruchów: może być odchylona od ścianki po odłączeniu jej od wózka, gdyż umieszczona jest na przegubowym ramieniu. Poza tym głowica posiada jeszcze dwa ruchy obrotowe. Aparatem tym możemy więc wykonywać prześwietlenia, zdjęcia pacjenta przed ścianką (jedna odległość lampy od kasety) oraz wszelkie inne zdjęcia przy maksymalnej odległości lampy od filmu 180 cm.



Rys. 28. Przewoźny aparat do terapii pośredniej (Westinghouse)



Rys. 29. Stół aparatu do terapii pośredniej (Picker)

Moc aparatu wynosi: 95 kV_{max} przy 30 mA. Aparat posiada osobny stolik rozdzielczy. Na pulpicie jego znajdują się: zegar synchroniczny, miliamperomierz, kilowoltomierz, dwa regulatory napięcia (zgrubny i dokładny), dwa regulatory prądu. Poza tym ze stolikiem połączone są dwa wyłączniki: ręczny do zdjęć i nożny do prześwietleń. Najlepszym rozwiązaniem w tej grupie jest aparat stosujący lampę w kołpaku olejowym.

O fluoroskopach pionowych można powiedzieć, iż istnieje obecnie tendencja zaniechania budowy aparatów niepełnoochronnych, które nadają się tylko do prześwietleń, a budowania na ich miejsce aparatów głowicowych lub kołpakowych, gdyż te ostatnie są wszechstronniejsze, obok prześwietleń pozwalają bowiem na wykonywanie zdjęć. Jeśli mamy do czynienia z tym ostatnim typem aparatu, to zdjęcia wykonywane są zazwyczaj na stole, posiadającym przysłonę Bucky, lub też przy pomocy pionowego uchwytu kasetowego (zdjęcia płuc).

Aparaty uniwersalne (duże aparaty diagnostyczne). Na ogół aparaty te dadzą się podzielić na dwie grupy: aparaty mniejsze (100 mA) w układzie samoprostującym oraz aparaty duże (200 lub 500 mA) z reguły pełnofalowe. Transformatory do aparatów 100 i 200 mA bywają te same. Przy krótkich czasach zdjęć ta sama lampa rentgenowska może być w układzie pełnofalowym obciążona prądem dwa razy większym niż w układzie samoprostującym.

Aparat na 100 mA składa się z transformatora w oddzielnej skrzyni olejowej, stolika rozdzielczego (najczęściej wózkowego) oraz stojaka lampowego. Wszystkie te elementy już opisano wyżej. W tej grupie aparatów mamy bardzo często do czynienia z aparatem stosującym tę samą lampę do prześwietleń i zdjęć. Stojak lampowy jest wówczas przeważnie połączony bezpośrednio ze stołem. Rys. 12 podawał nam taki właśnie aparat. Jak z rysunku widać, transformator umieszczony jest obok stołu. Może się jednak zdarzyć, że wygodniej będzie nam umieścić transformator w osobnym pomieszczeniu, np. za ścianą. Zaleca się to szczególnie wtedy, gdy aparat posiada stojak lampowy zawieszony na suficie i oparty o podłogę. Wówczas mamy całkowitą swobodę ruchów wokół stołu. Przy aparatach na 100 mA najczęściej jednak stawiamy transformator obok stołu. Czasem transformator połączony jest ze stojakiem lampowym jak to pokazuje rys. 11. W instalacjach amerykańskich istnieje tendencja do umieszczania transformatora możliwie blisko stołu, co jest podyktowane chęcią skrócenia kabli i nadania im stałej długości we wszystkich aparatach. Anglicy natomiast dotychczas stosują prowadzenie kabli na suficie i umieszczanie transformatorów w rogu pokoju lub poza pomieszczeniem do zdjęć. Wadą takiego układu są długie kable, których pojemność wpływa na odkształcenie krzywej prądu, a poza tym w każdym urządzeniu mamy inną długość kabli, nie możemy więc z góry skompensować ich pojemności. Rys. 25 podaje typowy aparat angielski na 100 mA.

Aparaty na 200 mA posiadają, jak już wspomniano, te same transformatory co aparaty na 100 mA. Generator aparatu na 200 mA zawiera poza transformatorem jeszcze układ prostowniczy. Jest to z reguły układ mostkowy, czterolampowy. Transformator razem z prostownikiem zawarty jest we wspólnej skrzyni olejowej. Jedynie niektóre aparaty małoobrazkowe posiadają generatory na 200 mA podzielone na dwie części: transformator i prostownik w osobnych skrzyniach. Ma to na celu ułatwić przenoszenie aparatu.

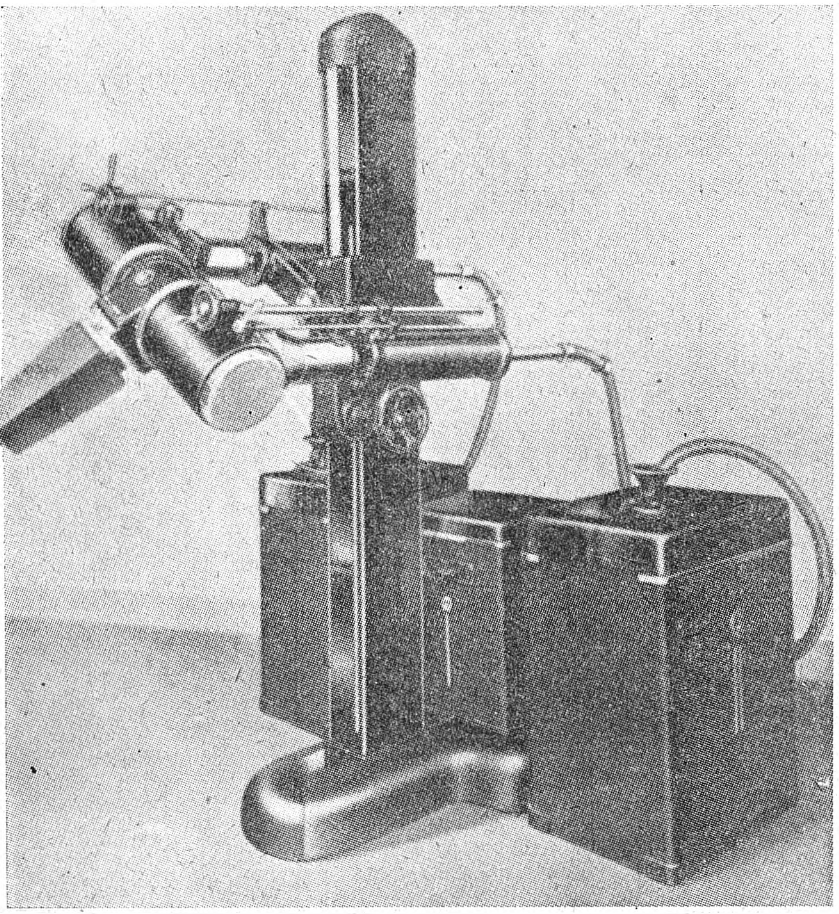
Wszystkie części składowe aparatu na 200 mA (generatory, stoliki rozdzielcze, stojaki lampowe i stoły) już omówiono w poprzednich rozdziałach. Należy wspomnieć, iż aparaty te posiadają zazwyczaj 2 lampy rentgenowskie: jedną umieszczoną pod stołem i przeznaczoną do prześwietleń i drugą nad stołem (na stojaku) przeznaczoną do zdjęć. Obie lampy zasilane są z jednego generatora.

To co powiedziano wyżej o umieszczaniu transformatora dla aparatu na 100 mA dotyczy również aparatów na 200 mA. W tym wypadku jednak mamy do czynienia z większymi, cięższymi aparatami, stosującymi przeważnie duże, ciężkie lampy z wirującą anodą. Ze względu na większą sztywność stojaka lampowego, wspartego na podłodze i suficie, znajduje on przeważnie zastosowanie w aparatach większych (200 mA). W takim wypadku często zdarza się, iż generator umieszczamy za ścianą w osobnym pomieszczeniu, gdyż chcemy mieć całkowitą swobodę ruchów wokół stołu. Rys. 26 pokazuje, w jaki sposób prowadzone są kable od stołu do transformatora: od lampy górnej po suficie, od lampy dolnej pod podłogą.

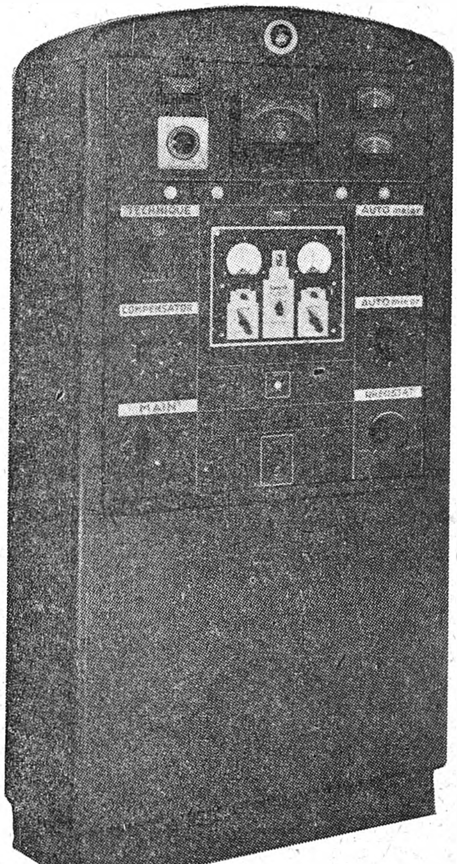
W aparatach na 200 mA znajdują zastosowanie przeważnie pionowe pulpity rozdzielcze — wolnostojące lub przymocowane do ściany. W pulpitach tych fabryki starają się wprowadzić jak najdalej idącą automatyzację. Polega ona między innymi na zastosowaniu urządzeń kompensacyjnych zarówno przy regulacji napięcia, jak i prądu. W aparacie takim możemy od razu nastawić żądane przy zdjęciu wartości napięcia i prądu, nie włączając obciążenia. Przyrządy wskażą nam wartości napięcia i prądu, które będą istniały po włączeniu obciążenia. Następuje więc samoczynna kompensacja spadku napięcia od prądu roboczego, jak również kompensacja różnicy prądu przy różnych napięciach. Poza tym aparaty takie posiadają stabilizatory napięcia i prądu, uniezależniające wydajność aparatu od wahań napięcia w sieci.

Aparaty na 500 mA są to takie same aparaty jak na 200 mA, posiadają jedynie transformator większej mocy. Tutaj z reguły stosujemy lampy z wirującą anodą, gdyż tylko one są w stanie wytrzymać tak duży prąd. Aparat na 500 mA ma prawie zawsze pionowy pulpit rozdzielczy. Poza tym pozostałe części aparatu są takie same jak w aparacie na 200 mA. Zarówno aparaty na 100, jak na 200 i 500 mA pracują przy swych największych obciążeniach na napięciach 100—110 kV. Przy mniejszych prądach generatory te mogą dawać do 140 kV^{max} i są wówczas stosowane do terapii powierzchniowej i pośredniej. W takim przypadku stosujemy osobny zegar do terapii. Jest on zazwyczaj umieszczany na wspólnym pulpicie.

Aparaty małoobrazkowe. Te stanowią osobny dział wśród aparatów diagnostycznych. Rozwój tej dziedziny rentgenologii jest stosunkowo niedawny. Pomijamy je, gdyż są one obszernie opisane w książce: „Rentgenografia małoobrazkowa" dr M. Telatyckiego i inż. J. Domanusa, wydanej przez Lekarski Instytut Naukowo-Wydawniczy w Warszawie.



Rys. 30. Aparat jednokolumnowy na 220 kV (Kelley-Koett)



Rys. 31. Pulpit rozdzielczy aparatu na 220 kV (Kelley-Koett)

Aparaty terapeutyczne

W rodziale niniejszym zajmiemy się tylko aparatami terapeutycznymi o napięciach do 400 kV_{max} do terapii stykowej, powierzchniowej, pośredniej i głębokiej.

Aparat do terapii stykowej. Jest on obecnie budowany jedynie przez Philipsa. Posiada całkowicie odmienną konstrukcję od innych aparatów rentgenowskich. Ma lampę o uziemionej katodzie, jest ona chłodzona powietrzem. Lampa pracuje przy 50 kV i 2 mA (rys. 27).

Aparat pracuje na napięciu stałym. Osiąga się je przez zastosowanie układu z jedną lampą prostowniczą i jednym kondensatorem.

Aparat do terapii powierzchniowej. Zasadniczo każdy aparat diagnostyczny nadaje się do zastosowania do terapii powierzchniowej. Nawet aparat polowy w układzie samoprostującym może być używany do naświetlań. Wydajność jego wynosi wówczas 4 mA przy 90 kV_{max} lub 5 mA przy 85 kV_{max}. Może on pracować przy tych prądach w sposób ciągły. Aparaty diagnostyczne bu-

dowane na 100 kV_{max} mogą zazwyczaj pracować przy 5 mA jako aparaty terapeutyczne. Aparaty budowane specjalnie dla terapii powierzchniowej dają napięcia 100 do 120 kV_{max}. Przy 100 kV bywają stosowane aparaty półfalowe, bez lamp lub z dwiema lampami prostowniczymi.

Poza aparatami do terapii powierzchniowej na napięcie 100 kV_{max} istnieją również aparaty na 120 kV_{max}, które zajmują pośrednie miejsce pomiędzy aparatami do terapii powierzchniowej i pośredniej. Budowa ich niczym nie różni się od aparatów, opisanych wyżej. Są to z reguły aparaty z dwiema lampami prostowniczymi. Posiadają jednakże inną lampę. W aparacie na 100 kV lampa nie posiadała żadnego dodatkowego wewnętrznego chłodzenia. Jedynie z zewnątrz na kołpaku dobudowano wentylatorek. Lampa dająca 10 mA przy 120 kV_{max} i pracująca w sposób ciągły musi mieć chłodzenie wewnętrzne. Bywa to najczęściej chłodzenie olejowe. Kołpak olejowy posiada dwa wyloty, do których przyłączone są węże gumowe, łączące kołpak z chłodnicą oleju. Olej jest przetłaczany przez głowicę przy pomocy pompy napędzanej silnikiem elektrycznym.

Aparaty do terapii pośredniej. Budowane bywają na napięcie 140 do 150 kV_{max} i prąd 8 mA. Są to aparaty półfalowe z dwiema lampami prostowniczymi. Bywają one wykonywane jako nieruchome z szynowym lub kolumienkowym stojakiem lampowym lub też jako aparaty przewoźne (rys. 28). Wszystkie te aparaty posiadają lampy typu Thermax firmy Machlett. Jest to lampa w kołpaku olejowym, chłodzonym wodą. Chłodzenie wodne jest przyłączone wprost do instalacji wodociągowej.

Firma amerykańska Picker opracowała bardzo praktyczny model stołu, przystosowany specjalnie do terapii pośredniej. Wewnątrz stołu znajduje się transformator i chłodnica oleju (rys. 29).

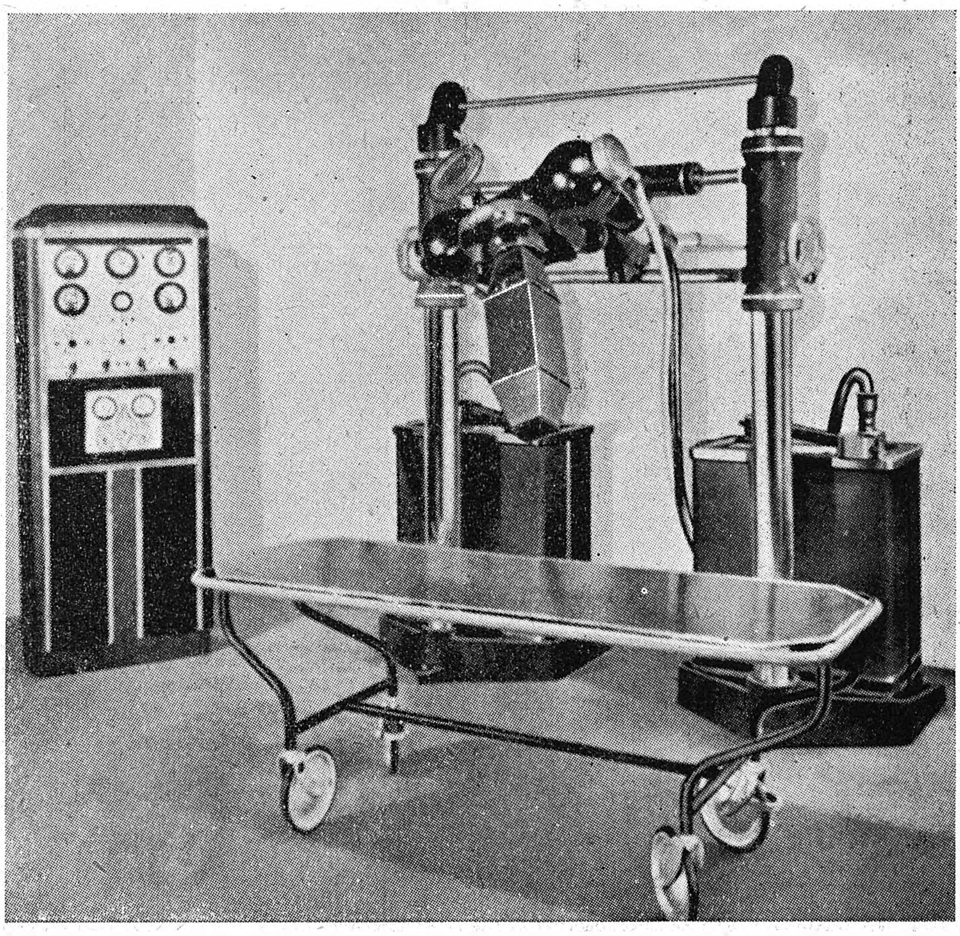
Aparaty angielskie do terapii pośredniej posiadają znacznie bardziej skomplikowane stoliki rozdzielcze. Pozostałe części aparatu nie różnią się zasadniczo od podobnych konstrukcji amerykańskich.

Aparaty do terapii głębokiej. Można je podzielić pod względem wysokości stosowanego napięcia na 4 grupy: 200, 220, 250 i 400 kV_{max}. Pod względem układu połączeń dzielą się one na aparaty samoprostujące i aparaty o napięciu stałym, pod względem zaś konstrukcji mechanicznej na aparaty jedno- lub dwukolumnowe oraz aparaty głowicowe.

Przegląd aparatów terapeutycznych przeprowadzimy według wysokości napięcia. Dziś już przeważnie zaniechano budowy aparatów na 200 kV. Aparaty takie można jeszcze spotkać w Anglii, która i w tej dziedzinie przejawia duży konserwatyzm. Wiele firm angielskich wykonywa generatory do aparatów 200 kV w układzie otwartym. Znajdują w nich wprawdzie zastosowanie transformatory olejowe, jednakże wchodzą one jedynie jako elementy generatora z izolacją powietrzną. Generator daje 9 mA przy 200 kV w układzie prądu stałego oraz 12 mA w układzie Villarda. Dalszą cechą tego aparatu jest to, iż posiada on lampę chłodzoną wodą. Woda doprowadzana jest do kołpaka tymi samymi kablami co prąd. Skutkiem tego kable są bardzo grube, mało giętkie, a montaż kołpaka lampy jest trudny.

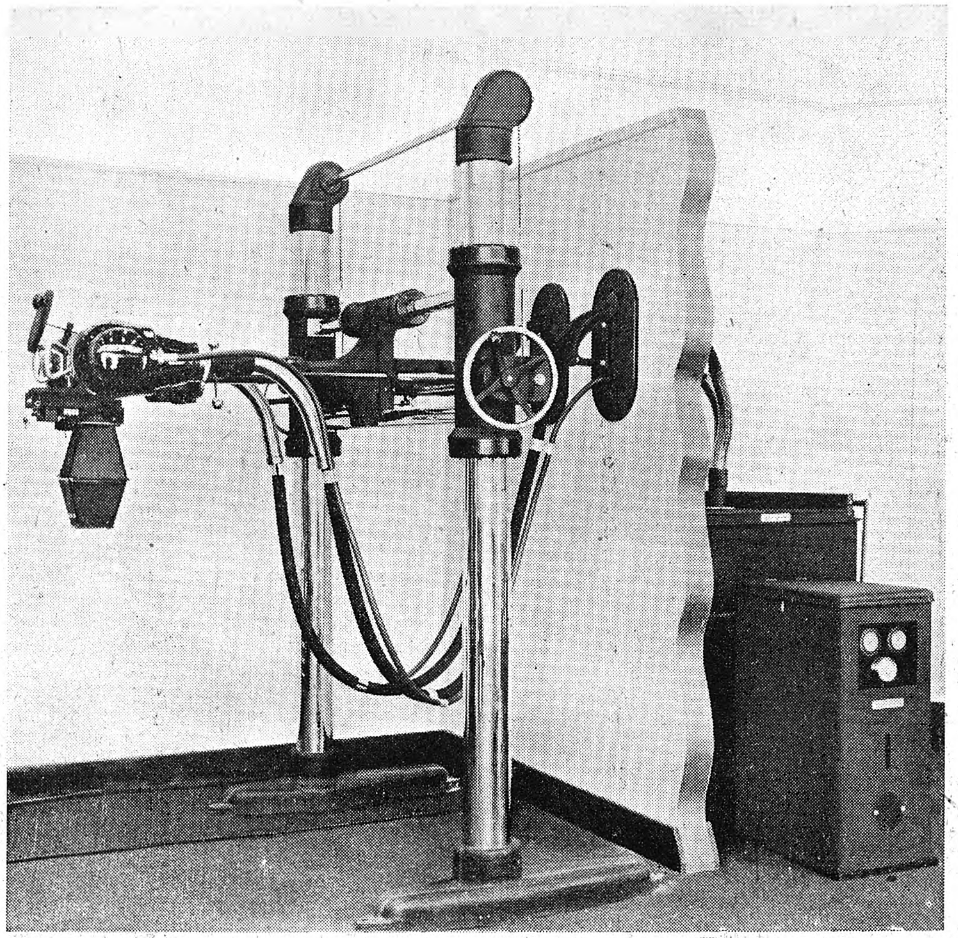
Aparaty na 200 kV zostały dzisiaj w Ameryce całkowicie wyparte przez aparaty na 220 kV. Aparaty na 220 kV wykonywa się jako jedno- albo dwukolumnowe. Generatory z reguły buduje się jako dwudzielne. Każda część zawiera połowę transformatora wysokiego napięcia wraz z odpowiednimi transformatorkami żarzeniowymi, jedną lampę prostowniczą i jeden kondensator. Całość pracuje w układzie Villarda. Oczywiście obie części generatora pracują w oleju.

Aparat jednokolumnowy, pokazany na rys. 30, posiada, jak wszystkie aparaty 220-kilowoltowe, lampę w kołpaku olejowym. Anoda lampy jest drążona i chłodzona olejem. Pomiędzy obu częściami transformatora znajduje się chłodnica oleju. Transformator wraz z chłodnicą może być, oczywiście, umieszczony również i w innym pomieszczeniu. Pulpit rozdzielczy aparatu z rys. 30 pokazany jest na rys. 31. Aparaty do terapii głębokiej posiadają przeważnie pulpity pionowe wolno stojące lub umieszczone na ścianie. Aparat według rys. 30 i 31 ma wydajność 20 mA przy 220 kV_{max} lub 25 mA przy 200 kV_{max}. Pulpit rozdzielczy (rys. 31) posiada u góry woltomierz mierzący napięcie linii (z lewej), pod nim zegar terapeutyczny, w środku kilowoltomierz, z prawej zaś dwa miliamperomierze. Jeden z nich włączony jest w obwód anody, drugi w obwód katody. Każdy z nich wskazuje całkowity prąd lampy. W lewym rzędzie mamy od góry: regulator prądu, kompensator napięcia sieci i główny wyłącznik. W prawym rzędzie dwa regulatory napięcia (zgrubny i dokładny) oraz opornik, którym każdorazowo podnosimy napięcie od zera do wartości nastawianej regulatorem napięcia. Ma to na celu zapobieżenie powstawaniu przepięć przy włączaniu. W środku pulpitu znajduje się grupa przyrządów do mierzenia wielkości promieniowania (dawkomierze). Poza tym na pulpicie znajdują się jeszcze wyłączniki i wskaźniki optyczne stanu poszczególnych części aparatu, jak również urządzenie do sterowania filtrów w lampie.



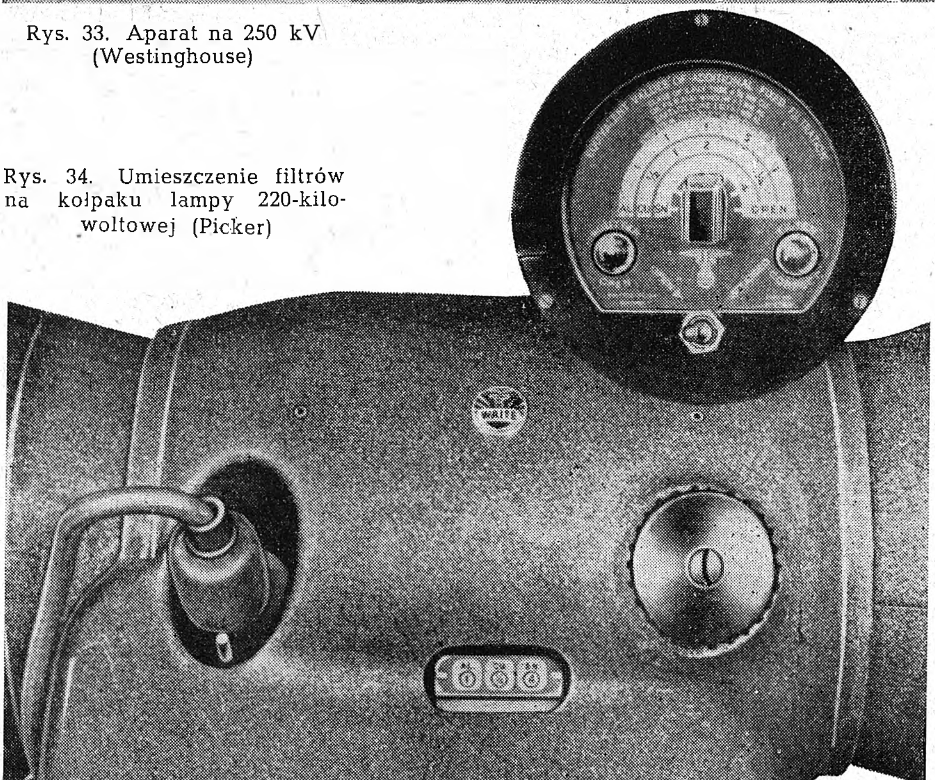
Rys. 32. Dwukolumnowy aparat na 220 kV (Westinghouse)

Aparat na 220 kV_{max} dwukolumnowy pokazany jest na rys. 32. Jak widzimy również i przy tym rozwiązaniu, generator podzielony jest na dwie części. Pracuje on w układzie Villarda z dwiema lampami prostowniczymi i dwoma kondensatorami. Lampa umieszczona jest w kołpaku olejowym



Rys. 33. Aparat na 250 kV (Westinghouse)

Rys. 34. Umieszczenie filtrów na kołpaku lampy 220-kilowoltowej (Picker)



i chłodzona jest olejem. Aparat posiada więc chłodnicę oleju. Pulpit podobny jest do podanego na rys. 31.

Jak widać z rys. 32, w aparatach terapeutycznych możemy posługiwać się stołami o bardzo prostej konstrukcji, lampa bowiem jest tak zawieszona, że posiada całkowitą swobodę ruchów (trzy ruchy postępowe i dwa obrotowe). W porównaniu z aparatem jednokolumnowym aparat dwukolumnowy daje większą swobodę ruchu, jednakże aparat jednokolumnowy zajmuje mniej miejsca.

W grupie aparatów na 250 kV jedynie Westinghouse produkuje aparaty z lampą kołpakową oraz generatorem na napięcie stałe. Generator ten składa się z transformatora oraz czterech lamp prostowniczych i czterech kondensatorów. Całość umieszczona jest we wspólnej skrzyni olejowej. Generator taki daje 12,5 mA przy 250 kV.

Pulpit rozdzielczy posiada stabilizator lampowy prądu żarzeniowego. Prąd lampy możemy nastawić z góry przed rozpoczęciem naświetlania. Regulacja napięcia odbywa się skokami co 2 kV w granicach od 60 do 250 kV. Napięcie nastawiamy również z góry dla wybranego prądu lampy. Wahania napięcia w sieci są kompensowane przez 11-stopniowy kompensator. Poza tym pulpit zawiera zegar mierzący czas do 60 min. Jest on nastawiany z dokładnością do 0,01 min. Zegar ten wykonany jest w kształcie przyrządu pomiarowego i umieszczony jest w górnym rzędzie na pulpicie pomiędzy woltomierzem napięcia sieci i miliamperomierzem. Poza tym na pulpicie mamy zegar sumujący czas trwania wszystkich zdjęć oraz licznik zdjęć. Dalej mamy optyczne wskaźniki filtrów.

Stojak lampowy wykonany jest jako dwukolumnowy (rys. 33). Lampa w kołpaku olejowym. Pompa przetłacza olej chłodzący drążoną anodą. Na rys. 33 pokazano takie ustawienie aparatu, przy którym generator i chłodnica znajdują się w osobnym pomieszczeniu.

W aparatach do głębokiej terapii stosuje się szereg filtrów. Ważny jest sposób umieszczania ich w kołpaku lampy. Najlepszym rozwiązaniem jest umieszczenie filtrów wokół środkowej części kołpaka lampy. Filtry te są kolejno nasuwane na okienko lampy. Może się to przesuwanie odbywać ręcznie lub też przy pomocy silniczka elektrycznego sterowanego z pulpitu. Rys. 34 pokazuje nam wskaźniki filtrów na kołpaku lampy oraz na pulpicie. Widzimy, że przy 220 kV stosuje się filtry aluminiowe, miedziane i cynowe. Odpowiednie kombinacje ich grubości widoczne są na rys. 34.

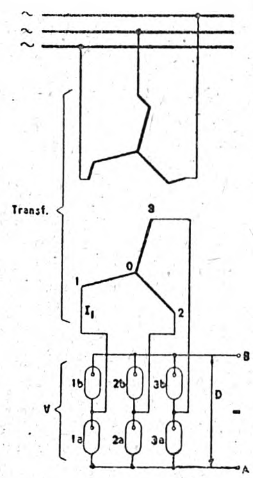
Dok. nast

Zagadnienie linii najwyższych napięć prądu stałego na Międzynarodowej Konferencji Wielkich Sieci Elektrycznych w r. 1946

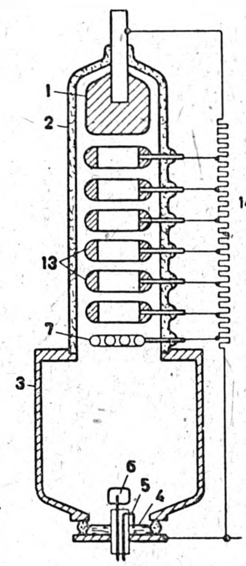
PROF. DR INŻ. J. L. JAKUBOWSKI

Sprawa przesyłania dużych energii na wielkie odległości przy pomocy prądu stałego zjawiła się po raz pierwszy na Konferencji Wielkich Sieci w 1931 r. Wystąpił z nią wtedy Schjölberg-Henriksen, który wskazał na praktyczne możliwości jej realizacji przy przesyłaniu energii wodnej z Norwegii na kontynent. Odtąd sprawa ta wyłania się na wszystkich sesjach Konferencji. W r. 1946 poświęcone jej było 7 referatów, z czego 5 ze Szwecji, a 1 ze Szwajcarii — krajów nie dotkniętych przez wojnę.

Referaty szwedzkie są interesujące z dwóch punktów widzenia. Stanowią one z jednej strony przegląd całego kompleksu zagadnień, związanych z prądem stałym. Ponadto



Rys. 1. Połączenie 6-fazowe mostkowe przekształtników
V przekształtniki parowo-rtęciowe
A, B zaciski napięcia stałego



Rys. 2. Przekształtnik parowo-rtęciowy, w którym łuk przebiega wewnątrz izolatora anodowego
1 anoda, 2 izolator anodowy, 3 zbiornik żelazny, 4 katoda, 5 urządzenie zapalające, 6 anoda zapalająca, 7 siatka sterująca, 13 elektrody dzielnika napięcia, 14 dzielnik napięcia

są one wynikiem rzeczywistej potrzeby technicznej, nie mają więc charakteru rozwiązań abstrakcyjnych. Oto tytuły referatów:

W. Borgquist. Przesyłanie energii przy pomocy prądu stałego wysokiego napięcia.

U. Lamm. Stacje z przekształtnikami rtęciowymi dla linii prądu stałego.

R. Lundholm. Doświadczenia szwedzkie z przesyłaniem prądu stałego przez ziemię.

B. Henning. Straty ulotowe i zaburzenia radiofoniczne przy dużych średnicach przewodów prądu stałego.

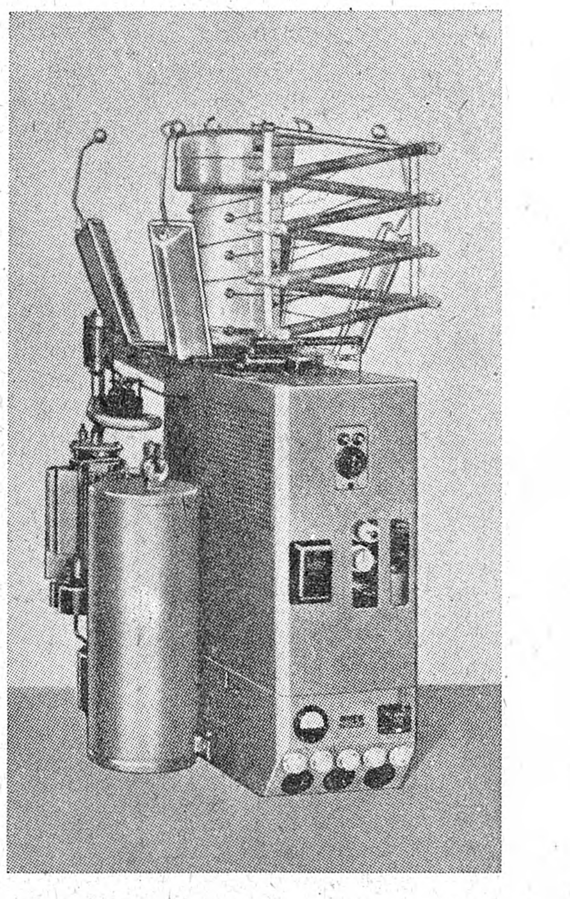
B. Hansson i B. Bjurström. Kable prądu stałego wysokiego napięcia.

Pierwszy referat daje syntezę szwedzkiego punktu widzenia na całość zagadnienia. Toteż referat ten biorę za podstawę niniejszego sprawozdania.

Prąd stały i zmienny są według Borgquista jednakowo dobre z punktu widzenia technicznego dla wielkich linii przesyłowych, prąd stały jest jednak korzystniejszy pod względem ekonomicznym. Należy zaznaczyć, że zagadnienie linii na 220 kV prądu zmiennego jest technicznie całkowicie rozwiązane, a zagadnienie linii na 400 kV nie wydaje się zasadniczo zbyt trudne. Linie trójfazowe na 400 kV są sprawą bliskiej przyszłości. Borgquist uważa, że sprawa wyboru rodzaju prądu (stały czy zmienny) powstanie dopiero przy odległości ponad 600 km, dla odległości zaś mniejszych system trójfazowy będzie napewno zachowany.

Aby zorientować się co do konieczności praktycznej linii prądu stałego, warto zapoznać się z perspektywami dla linii przesyłowych w Szwecji. Obecnie północ i środek Szwecji łączą 4 równoległe linie trójfazowe na 220 kV, a 2 dalsze są w budowie. Już teraz w pewnych warunkach mogą powstać zaburzenia w pracy równoległej. Jeśli system trójfazowy na 220 kV będzie zachowany w przyszłości, liczba takich linii może dojść do 20. Nic dziwnego, że Szwedzi myślą albo o liniach trójfazowych na 400 kV, albo o liniach napięcia stałego. Według Borgquista znaczenie praktyczne mogą mieć linie prądu stałego 2 × 200 do 2 × 300 kV o zdolności przesyłowej 400 MW.

Ponieważ do podnoszenia napięcia istnieje tylko jeden aparat o znaczeniu praktycznym — transformator, wytwarzanie napięcia i jego podnoszenie musi odbywać się systemem prądu zmiennego. To samo dotyczy obniżania napięcia na stacjach końcowych linii przesyłowych prądu stałego. A więc linie muszą być zasilane przez prostowniki, a odbiór z nich musi się odbywać zapomocą ondulatorów, zmieniających prąd stały na zmienny. Prostowniki i ondulatory, ogólna nazwa obu przyrządów — przekształtniki, są kluczowym zagadnieniem problemu linii prądu stałego. Rozwiązanie jego idzie w kierunku łączenia szeregowego kilku przekształtników rtęciowych sterowanych (z siatką), lub też przekształtników z katodą żarzoną w obudowie szklanej (Gen. El. Co.). Łączenie szeregowe jest stosowane



Rys. 3. Przekształtnik jednoanodowy na 50 kV, 70 A
Z lewej strony pompa próżniowa i zbiornik próżniowy wstępny. Rury zygzakowe przed anodą to dzielniki napięcia. Izolator anodowy otaczają cztery grzejniki odbłyskowe (ogrzewają anodę dla utrzymania odpowiedniej temperatury pary rtęciowej)

dla uzyskania dużego napięcia zwrotnego. Typy, które Borgquist uważa za mające już znaczenie praktyczne, są to przekształtniki rtęciowe o napięciu zwrotnym 130 kV i prądzie 150 A, które są w próbach laboratoryjnych. Dla b. wielkich mocy należałoby opracować typy na 400 A.

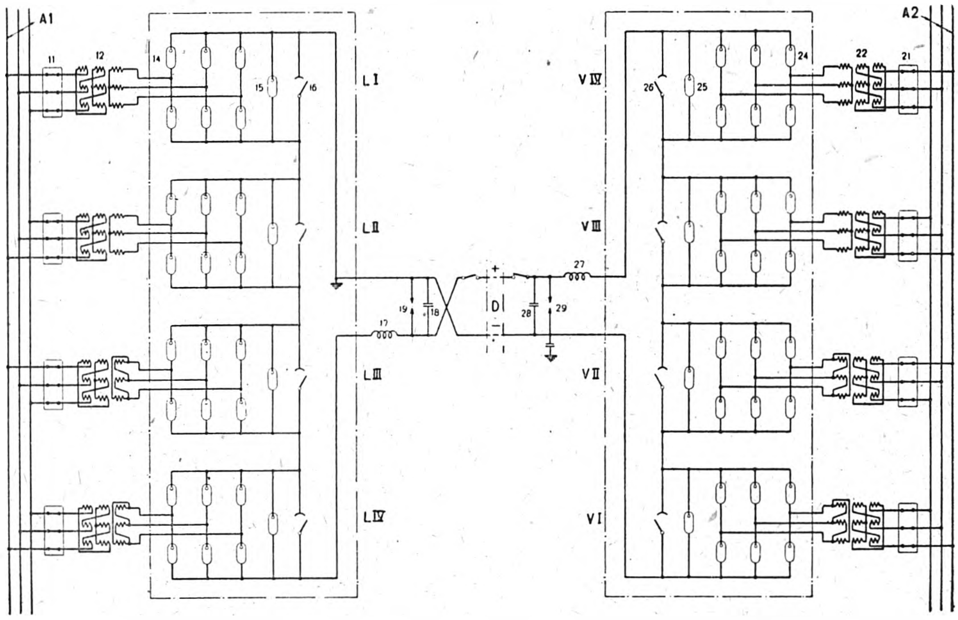
Warto zaznaczyć, że obecnie nie słyszy się już o niezwykle pomysłowym rozwiązaniu Marxa — przekształtnikach pod postacią iskierników, sterowanych impulsami z generatora udarowego. Zdaje się, że ten typ przeszedł już do historii mimo dodatnich wyników prób.

Od roku 1939 problem linii prądu stałego wszedł w stadium prób na skalę przemysłową (Brown Boveri w Szwajcarii, General El. Co. w USA, Zarząd sił wodnych i ASEA w Szwecji, Höchstspannungsgesellschaft w Niemczech). Z prób tych na pierwsze miejsce wysuwają się amerykańskie i niemieckie.

W Ameryce w roku 1943 do sprzężenia dwóch sieci prądu zmiennego o różnej częstotliwości użyto zespołu prostownie, nagle zmniejszając a potem podnosząc napięcie, co odpowiada wyrzucaniu zwarć w sieciach trójfazowych (tzn. natychmiastowemu zamykaniu wyłącznika po wyłączeniu).

Referat Lamma rozpatruje szczegółowo schemat i konstrukcje stacji przekształtnikowych oraz samych przekształtników rtęciowych. Podstawowe połączenie przekształtników jest to połączenie sześciofazowe mostkowe (rys. 1). Zapłony przekształtników są sterowane przy pomocy siatek, przy czym napięcia siatek są odpowiednio przesunięte w fazie. Zmiana tych napięć pozwala na regulację mocy przesyłowej.

Stacja zmieniająca prąd stały na zmienny (stacja ondulacyjna) jest źródłem mocy czynnej prądu zmiennego. Jed-



Rys. 4. Układ zasadniczy urządzenia przesyłowego prądu stałego
Z lewej strony stacja prostownikowa o czterech zespołach (kraniec odsyłowy), z prawej strony stacja ondulatorowa o czterech zespołach (kraniec odbiorczy); *A1, A2* szyny zbiorcze prądu trójfazowego; *D* linia przesyłowa prądu stałego; *11, 21* wyłączniki prądu trójfazowego; *12, 22* transformatory; *14, 24* przekształtniki główne; *15, 25* przekształtniki bocznikowe; *16, 26* odłączniki; *17, 27* dławiki; *18, 28* kondensatory ochronne (od przepięć) i wyrównawcze; *19, 29* odgromniki

wników i ondulatorów. Prąd stały nie był przy tym przesyłany na odległość, lecz był w miejscu wytworzenia odrazu zamieniany na prąd zmienny. Wartość doświadczenia polega na tym, że moc, przetwarzana przez zespoły przekształtników dochodziła do 10 000 kW i że przekształtniki jonowe z parą rtęci wykazały zdolność do pracy długotrwałej. Napięcie stałe wynosiło jednak tylko 30 kV.

Doświadczenia, przeprowadzone w czasie wojny w Niemczech, polegały na uruchomieniu linii kablowej Berlin—Elba o długości 160km na napięcie stałe 2×200 kV z punktem zerowym uziemionym. Moc przesyłana wynosiła 25000 kW (moc nominalna 60 000 kW). Zastosowano prostowniki rtęciowe na 120 kV, 150 A, ale łączono 3 prostowniki w szereg, tak że na każdy przypadało 75 kV. Niestety, brak jest bliższych danych o tej ciekawej instalacji, która uległa zniszczeniu w czasie nalotu na Berlin.

W Szwecji myśli się o projekcie instalacji o napięciu względem ziemi 250 kV, o prądzie 400 A i mocy 100 MW, przesyłanej na odległość 500 km. Byłaby to druga próba na największą skalę realizacji idei linii przesyłowych prądu stałego.

Jeśli chodzi o zagadnienia techniczne, Borgquist jest zdania, iż powrót prądu przez ziemię zaleca się tylko w razie wypadku z jednym z dwu przewodów układu 2-przewodowego z zerem uziemionym. Stałe wykorzystywanie ziemi jest niemożliwe ze względu na korozję kabli telefonicznych i zaburzenia w sygnalizacji kolejowej. Koszt kabli na prąd stały można zniżyć prawie do poziomu kosztów linii napowietrznej, co pozwoli niezwykle uprościć linie przesyłowe. Ze względu na ulot napięcie stałe linii winno odpowiadać wartości szczytowej napięcia zmiennego o 50 Hz. W tej sprawie zresztą nie jest wypowiedziane ostatnie słowo, gdyż wyniki badań są sprzeczne. Być może, będzie można dawać napięcie stałe większe niż zmienne, oczywiście do granicy zaburzeń radiofonicznych.

Linie prądu stałego traktuje się obecnie wyłącznie jako linie przesyłowe i nie przewiduje się odbiorów po drodze. W tych warunkach stosowanie wyłączników odpada. Daje to duże uproszczenie aparatury. Również ochrona linii od zwarć, będących skutkiem przepięć, jest łatwa. Usuwa się

nocześnie jest ona, jak się okazuje, odbiornikiem mocy biernej, która musi być przez sieć prądu zmiennego dostarczona (ze względu na sposób działania ondulatorów prąd zmienny wyprzedza napięcie). Pobór mocy biernej zależy od rodzaju sieci i od dostarczonej mocy czynnej.

Zaburzenia w działaniu stacji prostownikowych polegają głównie na zapłonach powrotnych, a w stacjach ondulacyjnych — na zaburzeniach w komutacji.

Najciekawszą częścią referatu Lamma jest opis najnowszych prostowników szwedzkich (rys. 2). W konstrukcji tej zastosowano wewnątrz przekształtnika dzielnik napięcia. Elektrody dzielnika powodują, że napięcie w okresie nieczynności przekształtnika rozkłada się na dłuższej drodze, a nie skupia koło anody, jak w zwykłych prostownikach. Przy dużych napięciach zwrotnych skupienie napięcia przy anodzie prowadzi do silnego bombardowania jej przez jony dodatnie i ostatecznie do wytworzenia łuku. Nowa konstrukcja unika tej niedogodności, dlatego nadaje się do stosunkowo wysokich napięć. Fotografię takiego przekształtnika podaje rys. 3.

Zasadniczy schemat przesyłania energii podaje rys. 4, układ szczegółowy stacji — rys. 5, a szkic montażowy — rys. 6.

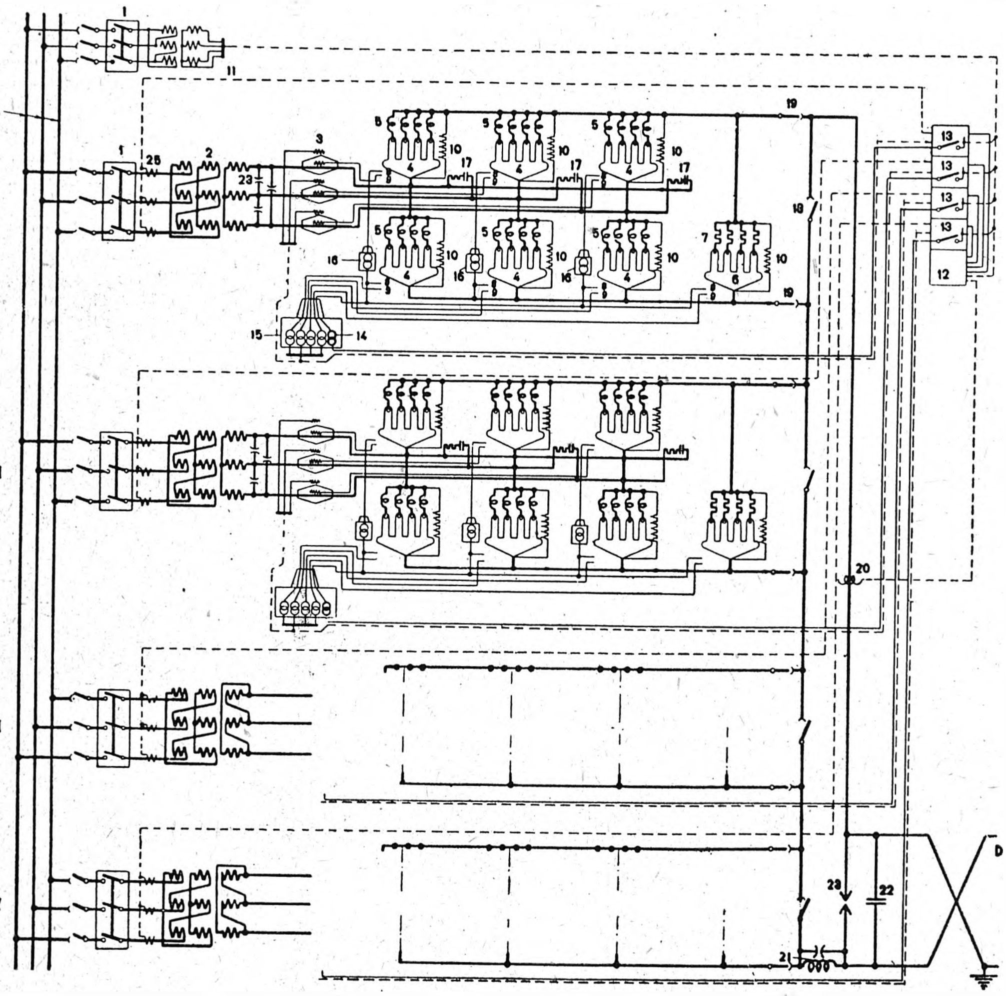
Z zagadnień specjalnych, związanych z liniami prądu stałego, poruszanych przez Szwedów na Konferencji Wielkich Sieci, na pierwszym miejscu należy wymienić zagadnienie przechodzenia prądu przez ziemię.

Użycie ziemi jako jednego z przewodów jest zagadnieniem bardzo nęcącym. Niestety, badania R. Lundholma noszą charakter tylko badań wstępnych. Przeprowadzono je w ten sposób, że dwa uziemienia, umieszczone w odległości do 460 km, zasilano prądem stałym 20—170 A, jak na rys. 7.

Okazało się, że płaszcze kabli silnoprądowych i telekomunikacyjnych oraz szyny kolejowe idące wzdłuż linii prostej, łączącej uziemienia, przewodzą b. dużą część prądu. W jednym przypadku wielkość prądu w szynach wynosiła 16% całego prądu, co przy 1000 A dałoby 160 A. Pochłanianie prądu przez kable może prowadzić do korozji;

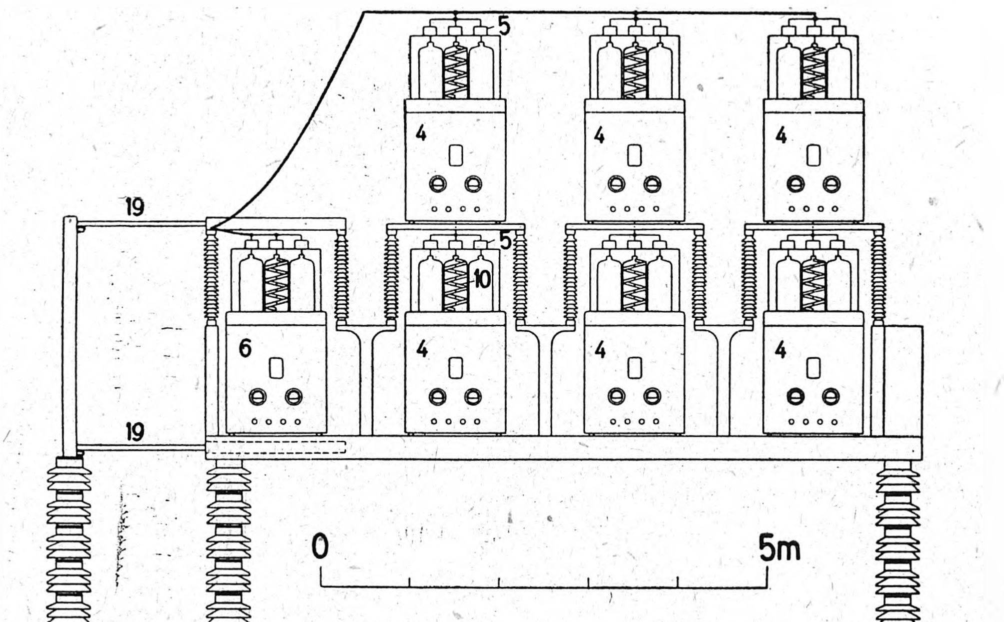
z omawianych badań wstępnych trudno wyciągnąć w tej sprawie wnioski.

Aby uniknąć wypadków na zelektryfikowanych kolejach, w czasie prób wstrzymano ruch pociągów. Okazało się, że stosowane w sygnalizacji kolejowej przekaźniki prądu stałego spowodowały rzeczywiście fałszywe sygnały.



Rys. 5. Układ połączeń stacji przekształtnikowej o mocy około 120 MW

1 wyłącznik trójfazowy; *2* transformator; *3* izolatory przepustowe ścienne z transformatorem siatkowym; *4* przekształtniki główne; *5* indukcyjny rozdzielacz prądu na anody równoległe; *6* przekształtnik bocznikowy; *7* oporowy rozdzielacz prądu na anody równoległe; *8* dopływ prądu pomocniczego przekształtnika; *9* doprowadzenie napięcia do siatek przekształtnika; *10* oporowy dzielnik napięcia; *11* stacyjny transformator pomocniczy; *12* tablica dla przyrządów wspólna; *13* tablica dla przyrządów poszczególnego przekształtnika; *14* i *16* transformatory izolacyjne do zasilania pomocniczego; *15* transformator izolacyjny dla siatek; *17* obwód tłumiący; *18* i *19* odłączniki; *20* transduktor pomiarowy prądu stałego; *21* dławik; *22* kondensator wyrównawczy i ochronny od przepięć; *23* odgromnik



Rys. 6. Szkic rozplanowania przestrzennego przekształtników dla układu według rys. 5 (oznaczenia te same co na rys. 5)

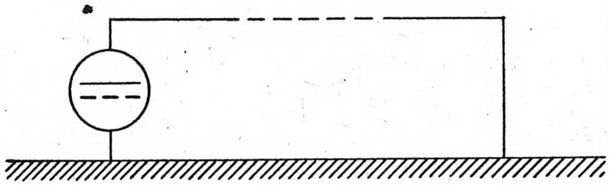
Sprawa rozpływu prądu w ziemi jest w Szwecji zagadnieniem specyficznym z uwagi na to, że w znacznej części kraju źle przewodzące skały wulkaniczne dochodzą do powierzchni ziemi. Rozkład napięcia na powierzchni ziemi pozwala przypuszczać, że duża część prądu płynie dopiero na głębokości 35 km, gdzie przewodność skały jest większa, na skutek zwiększenia temperatury.

W warunkach szwedzkich możliwe jest wykorzystanie morza jako przewodnika. Badania Lundholma były jednak zbyt pobieżne, aby zorientować się co do wartości praktycznej tej metody.

B. Henning zajmuje się w swym referacie stratami ulo-

towymi przy napięciu stałym i zmiennym. Ulot jest zjawiskiem szkodliwym z dwóch względów: ogranicza on przez straty ulotowe i zaburzenia radiofoniczne napięcie, które można stosować przy danym układzie przewodów.

Badania Henninga odnoszą się do dużych średnic przewodów (od 28 do 34 mm), w przeciwieństwie do większości badań dotychczasowych. Odstęp między przewodami był

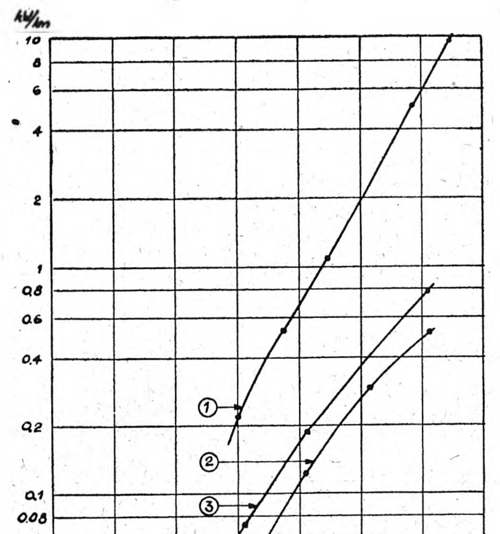


Rys. 7. Zasadniczy układ połączeń przy przesyłaniu prądu stałego przez ziemię

6 m, a odstęp przewodów od ziemi 8,5 m. Tylko jeden z przewodów był pod wysokim napięciem. Straty ulotu przy napięciu zmiennym mierzono przy pomocy watomierza po stronie pierwotnej transformatora zasilającego; straty przy napięciu stałym — bezpośrednio przy pomocy miliamperomierza. Do pomiaru zaburzeń radiofonicznych użyto miernika natężenia pola (μV/m). Typowe wyniki pomiaru przedstawiają rys. 8 i 9.

Badania Henninga, jako zbyt skąpe, nie pozwalają na wyciągnięcie definitywnych wniosków. Autor, wychodząc z założenia, że w czasie pięknej pogody dopuszczalne są straty pojedynczego przewodu 0,3 kW/km, przypuszcza, że linia o napięciu zmiennym 200 kV (wartość szczytowa) może być użyta dla napięcia stałego 270 kV czyli o 35% większego.

Zaburzenia radiofoniczne pozwalają na zastosowanie napięcia stałego tylko o 10% większego, niż wartość szczytowa napięcia zmiennego (przy tych samych zaburzeniach).



Rys. 8. Straty ulotowe pojedynczego przewodu w kW/km w funkcji wartości szczytowej napięcia

1 prąd zmienny; 2 prąd stały, przewód dodatni; 3 prąd stały, przewód ujemny

Badania Hanssona i Bjurströma odnoszą się do własności kabli przy bardzo wysokich napięciach stałych. Ze względu na brak strat dielektrycznych grubość izolacji kabli prądu stałego jest znacznie mniejsza, niż kabli prądu zmiennego. Kable dla najwyższych napięć stałych winny być, według autorów referatu, olejowe, gdyż w kablach masowych przy podwyższonej temperaturze masa, nasycająca papier, może się przesuwać, przez co niektóre części izolacji są mniej nasycone (ułatwienie przebicia). Wniosek ten jest oparty na trwających miesiącami próbach w firmie ASEA. W każdym razie ustalenie właściwej konstrukcji kabli prądu stałego wymagać będzie jeszcze długotrwałych studiów.

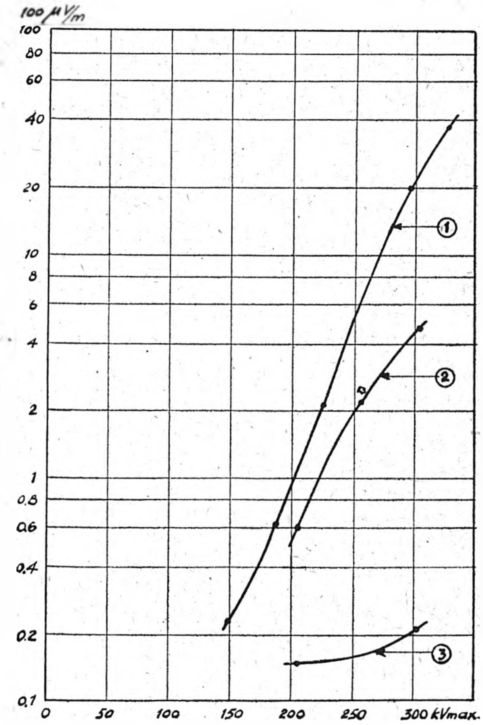
Stan badań szwedzkich w dziedzinie praktycznej realizacji linii prądu stałego mogę uzupełnić jeszcze danymi, z jakimi zapoznałem się w czasie podróży do Szwecji w grudniu 1946 r. Przy tej okazji zwiedziłem podstację doświadczalną prądu stałego w Trolhättan i przekonałem się:

1) o daleko posuniętej realizacji idei urządzeń prądu stałego (linia doświadczalna 50 km, 2×45 kV, 72 A, 6,5 MW);

2) o tym, że realizacja ta nie wykroczyła poza zakres prób laboratoryjnych, a więc urządzenia są b. dalekie od pewności działania, wymaganej przez względy ruchowe;

3) że trzeba włożyć jeszcze olbrzymią pracę badawczą w uproszczenie bardzo skomplikowanej aparatury pomocniczej;

4) że konstrukcja przekształtników jest jeszcze daleka od doskonałości; w danej chwili specjalną trudność sprawia pękanie porcelanowego izolatora anody.



Rys. 9. Zaburzenia radiofoniczne w μV/m w funkcji wartości szczytowej napięcia

1 prąd zmienny; 2 prąd stały, przewód dodatni; 3 prąd stały, przewód ujemny

Powyższe trudności są zrozumiałe, jeśli się zważy, że urządzenia prądu zmiennego doszły do napięcia 220 kV drogą ewolucji naturalnej przez stopniowe podnoszenie napięć roboczych. Tymczasem przy opracowywaniu urządzeń prądu stałego odrazu wykonano skok, prawie że od zera do 400 kV.

Jak już wzmiankowano, zagadnienie linii prądu stałego ma dla Szwecji znaczenie realne. Nie można tego powiedzieć o Szwajcarii, która jest krajem terenowo b. małym, a mimo to prowadzi studia nad tym zagadnieniem. Wynika to stąd, że przemysł szwajcarski (BBC) jest nastawiony na eksport, a więc pragnie nie pozostać w tyle i na tym polu.

Ze Szwajcarii zgłoszono referat pod tytułem:

Ch. Ehrensperger. Przesyłanie energii prądem stałym wysokiego napięcia.

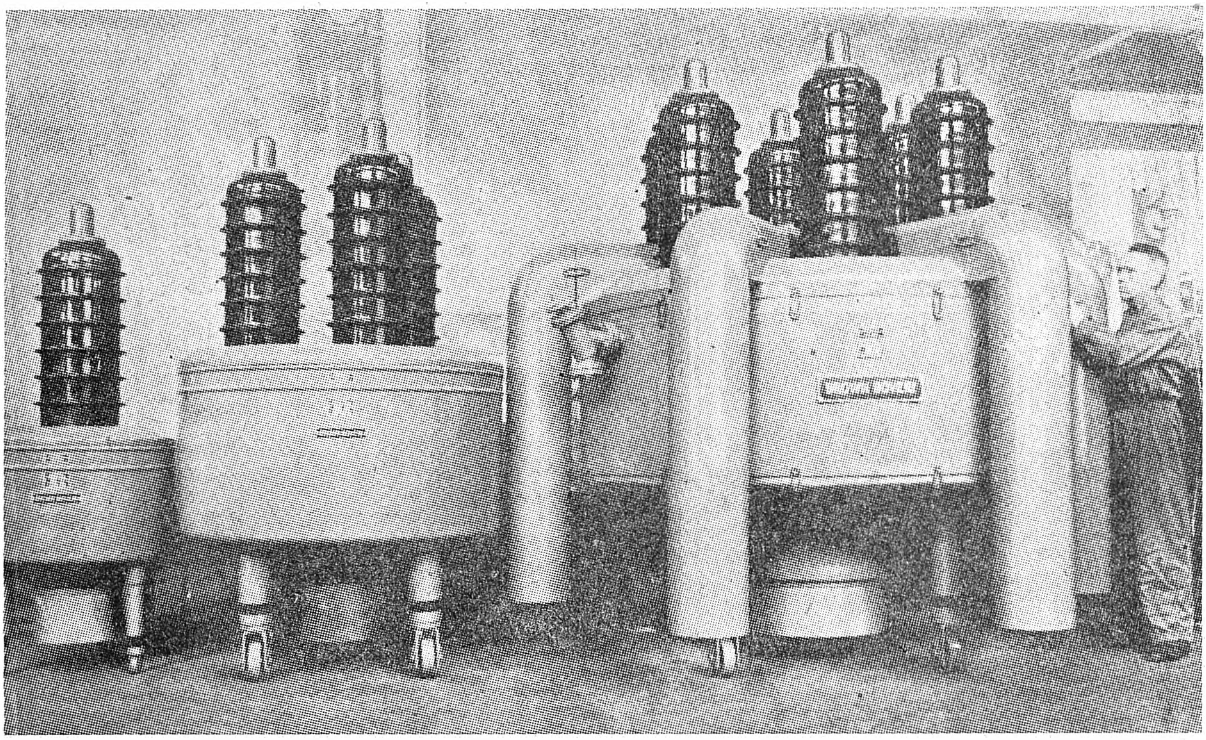
Zajmuje się on zarówno ogólną stroną zagadnienia, jak i próbami szwajcarskimi.

Z rozważań ogólnych wymienić warto bardzo ciekawe i przejrzyste zestawienie kosztów budowy linii prądu stałego i trójfazowego, powtórzone według dawniejszej publikacji tegoż autora. *) Widzimy z niego, że różnica w koszcie

*) Bliższe wiadomości w tej sprawie znajdują się na str. 243—245 niniejszego zeszytu. (Przyp. red.).

budowy linii jest tak duża na korzyść systemu prądu stałego, że przy dużych odległościach przesyłowych może z pewnością przewyższyć zwiększone koszty stacji przy prądzie stałym.

Możność zastąpienia linii napowietrznej kablem podziemnym przy napięciu stałym wynika stąd, że naprężenie robocze stałe można dać dużo większe, niż zmienne (40 kV/mm zamiast 4—5 kV/mm). Mianowicie prąd, pły-



Rys. 10. Przekształtniki firmy BBC

W dalszym ciągu referatu omówiono jeszcze krótko instalację w małej skali na wystawie w Zurychu w r. 1939.

Jako wynik doświadczeń szwajcarskich, opracowano projekt instalacji o mocy przesyłowej 100 MW i napięciu 300 kV. Z cech charakterystycznych podstacji wymienić należy łączenie przekształtników szeregowo po 3 razem oraz dostarczanie mocy biernej na stacjach ondulacyjnych przez kompensatory synchroniczne lub kondensatory (moc bierna rzędu 3/4 mocy czynnej).

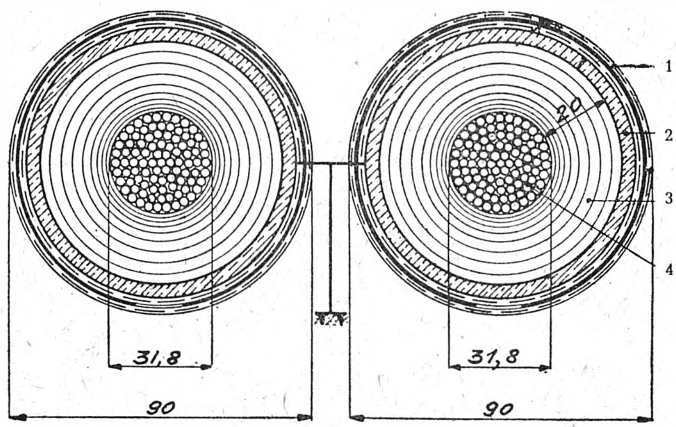
Dane konstrukcyjne, dotyczące przekształtników fabrykacji BBC (rys. 10) są bardzo skąpe. Dowiadujemy się tylko, że firma doszła do dużej doskonałości i opracowała typ przemysłowy, dostarczający 400 A przy 30 kV napięcia stałego. Typ ten przeszedł próby długotrwałe zarówno jako prostownik jak i ondulator, przenosząc moc do 13 000 kW.

Podobnie, jak autorzy szwedzcy, Ehrensperger jest zdania, że zapłonów zwrotnych w przekształtnikach uniknąć całkowicie nie można ze względu na statystyczne prawa, rządzące ich występowaniem. Tym niemniej liczbę takich zapłonów można zredukować tak, że nie będą one przeszkadzały ruchowi instalacji, a to dzięki specjalnym sposobom łączenia przekształtników.

Ostatnim referatem, dotyczącym napięcia stałego, jest referat francuski:

L. Domenach. Kable bardzo wysokiego napięcia stałego.

nący przez dielektryk, wynosi przy napięciu stałym kilka mA na kilometr długości kabla, podczas gdy przy prądzie zmiennym — powyżej napięcia jonizacji — prąd na kilometr może osiągnąć kilka A. Oczywiście taki prąd, płynący



Rys. 11. Kabel prądu stałego na 1000 kV i 800 MW (według projektu Domenacha)

1 pancerz; 2 płaszcz ołowiany; 3 papier nasycony; 4 żyła o przekroju 600 mm

przez zjonizowane szczeliny w izolacji, prowadzi łatwo do przebicia kabli prądu zmiennego.

Jako przykład proponowanej i możliwej już obecnie konstrukcji kabla napięcia stałego podaję kabel z rys. 11.

PRZEGLĄD CZASOPISM

WIDOKI GOSPODARCZE WYZYSKANIA ENERGII ATOMOWEJ W ELEKTROWNIACH

Sam H. Schurr. Economic Aspects of Atomic Energy as a Source of Power. Bulletin of the Atomis Scientists (1947, t. 3, Nr 4-5, str. 117-120 i 125-126)

1. Koszty porównawcze energii elektrycznej, otrzymywanej z atomu i innych źródeł.

Energia wyzwala się w stosie atomowym w postaci ciepła. Być może, ciepło to dało by się zużytkować bezpośrednio do szeregu celów przemysłowych i nieprzemysłowych, przy niskiej lub wysokiej temperaturze, jednakże dziś wydaje się nam, że ciepło pochodzące z atomu znajdzie zastosowanie przede wszystkim przy wytwarzaniu energii elektrycznej. Z tego właśnie względu rozważa się tutaj energię atomową tylko jako źródło energii elektrycznej.

Jak dotychczas, najtańszym źródłem energii elektrycznej są zakłady wodno-elekryczne. Jednak siła wodna może być wyzyskana tylko w pewnych punktach, wyznaczonych przez warunki naturalne, a przesyłanie energii elektrycznej z elektrowni wodnych na odległości większe od 500 km nie da

się gospodarczo uzasadnić. Koszt wytwarzania energii elektrycznej z paliw takich jak np. węgiel jest wyższy od kosztu energii wytwarzanej w zakładzie wodno-elekrycznym, a jednak paliwa te są bardzo szeroko stosowane, gdyż dają się transportować do każdej elektrowni bez względu na to, gdzie się ona znajduje.

Wszelako przewóz paliw zwykłych jest kosztowny, np. przewóz węgla koleją na odległość 300 km zwiększa o 0,1 centa ameryk. koszt 1 kWh. Stąd koszt energii elektrycznej, wytwarzanej w elektrowni odległej o 600 km od kopalni, jest o mniej więcej 30% wyższy od kosztu energii, wytwarzanej w zakładzie, położonym przy kopalni. Ponieważ 1 kg „surowca atomowego" wytwarza tyle energii co 2,5 miliona kg węgla, jest rzeczą oczywistą, że w obecnych warunkach koszt przewozu tego surowca będzie znikomy, a więc koszt energii elektrycznej pochodzącej z atomu będzie prawie jednakowy na całej kuli ziemskiej.

K o s z t e n e r g i i e l e k t r y c z n e j a t o m u. Według ogłoszonych obliczeń grupy pracującej w Oak Ridge pod kierownictwem dra C. A. Thomasa, elektrownia oparta na energii atomowej może wytwarzać energię elektryczną po 0,8 c/kWh (w centach Stan. Zjedn.) przy 100-procentowym wyzyskaniu zdolności wytwórczej. W praktyce ze względu na charakter zapotrzebowania elektrownie normalnie pracują przy wyzyskaniu najwyżej 50% swej zdolności wytwórczej. W tych warunkach koszt energii elektrycznej z atomu należy ocenić na 1 c/kWh.

Inna grupa, pracująca pod kierownictwem prof. Condliffe w uniwersytecie kalifornijskim, doszła dla takiego samego zakładu do ceny znacznie niższej, mianowicie 0,4 c/kWh przy wyzyskaniu instalacji w 45%.

W obu przypadkach obliczenia są dość niepewne, albowiem przyszłe rzeczywiste koszty zarówno wybudowania zakładów atomowych, jak i produkcji surowca atomowego, mogą być dziś oszacowane jedynie z przybliżeniem. Zresztą obliczenia grupy Thomasa dotyczą zakładu o mocy 75 000 kW, podczas gdy grupa kalifornijska brała za podstawę swych obliczeń zakład o mocy 500 000 kW.

Można więc przyjąć na podstawie obliczeń obydwu grup, że koszt wytwarzania energii elektrycznej w elektrowni atomowej będzie się mieścił w granicach 0,4—1,0 c/kWh lub może wykroczy nieco poza te granice.

Tabl. 1. Oszacowany[1]) średni koszt wytwarzania energii elektrycznej w różnych miejscach świata (w centach U. S. A. za 1 kWh)

	1937	1947
Argentyna		
okręgi nadbrzeżne	0,9	1,6
wewnątrz kraju	1,0—1,1	1,7—1,8
Chiny		
okręgi górnicze	0,65—0,7	—
inne obszary	0,7—0,9	—
Wielka Brytania	0,725	0,95
Węgry	0,925	—
Indie		
okręgi górnicze	0,65—0,75	—
inne obszary	0,75—1,0	—
Stany Zjednoczone Ameryki[2])		
na kopalni	0,55—0,625	0,575—0,675
w pobliżu kopalni lub przy drodze wodnej	0,65—0,725	0,70—0,825
zdala od kopalni przy transporcie kolejowym	0,75—0,875	0,85—095

Tabl. 1 podaje na podstawie danych, jakimi autor dysponuje, koszty wytwarzania energii elektrycznej dla pewnych dość różnorodnych obszarów w roku 1937, jako normalnym roku przedwojennym, i w roku 1947.

[1]) W tablicy nie podane są rzeczywiste koszty wytwarzania, zależne od warunków pracy poszczególnych elektrowni, lecz podane są koszty obliczone na podstawie kosztu paliwa w danym okręgu, przyjmując taki stosunek kosztu paliwa do kosztu wytwarzania, jaki można osiągnąć w elektrowni o mocy 100 000 kW przy 50-procentowym wyzyskaniu. Koszt węgla przyjęto łącznie z przewozem od kopalni do miejsca spożycia.

[2]) Cyfry dotyczą tylko elektowni węglowych. W pierwszej rubryce podane są cyfry z 1938 r., oparte na rzeczywistych kosztach paliwa w elektrowniach czynnych w tym roku. Cyfry w drugiej rubryce są oszacowane na podstawie ogólnych informacji o cenach węgla i opłatach przewozowych.

Na wszystkich wymienionych obszarach obecny koszt wytwarzania energii elektrycznej znajduje się w granicach przyjętych przez nas kosztów energii pochodzenia atomowego lub powyżej górnej granicy. Wskazywało by to, że elektrownie atomowe o wielkości takiej, jaką przyjęto w studiach kalifornijskich, a nawet mniejsze, były by w stanie wyprodukować energię elektryczną taniej, niż niektóre zakłady elektryczne obecnie czynne i to we wszystkich krajach.

Najwyższy poziom obecnych kosztów wytwarzania energii elektrycznej w krajach, objętych tablicą 1, przypada na Argentynę, najniższy na Stany Zjednoczone Ameryki. Jest to zrozumiałe: Argentyna jest wyjątkowym przykładem kraju biednego w zasoby energetyczne i skazanego na sprowadzanie paliwa z miejsc bardzo odległych, podczas gdy Stany Zjednoczone stanowią wyjątkowy przykład kraju obficie wyposażonego w źródła energii. Pomimo to nawet w Stanach Zjednoczonych koszty osiągają górną granicę rozpiętości kosztów energii elektrycznej z atomu, a przynajmniej w niektórych częściach stanów Minnesota, Południ. Dakota i Wisconsin.

W 1937 r. koszty produkcji energii elektrycznej w Argentynie utrzymywały się w pobliżu górnej granicy kosztów energii atomowo-elektrycznej, obecnie znacznie je przekraczają, co tłumaczyć należy ogólnoświatowym brakiem węgla i środków transportowych wodnych. Jeżeli normalne powojenne koszty wytwarzania energii elektrycznej w Argentynie ustalą się na poziomie pośrednim między kosztami z roku 1937 i 1947, to oszczędności, które kraj ten mógłby osiągnąć, posługując się energią atomową, byłyby bardzo znaczne.

Inne kraje, w których obecne koszty wytwarzania energii elektrycznej zbliżają się do górnej granicy kosztów energii atomowo-elektrycznej, a zatem w których energia atomowa opłacałaby się, to Węgry oraz obszary oddalone od kopalń węglowych w Indiach i Chinach. Węgry posługują się do wytwarzania energii elektrycznej paliwem krajowym, przy czym wysokie koszty tłumaczą się małą wartością opałową paliwa i dużymi kosztami wydobywania go. W Chinach i Indiach poziom kosztów wytwarzania energii elektrycznej na obszarach bardziej odległych od źródeł energetycznych jest względnie wysoki z powodu drogiego transportu węgla.

Sytuacja w Wielkiej Brytanii odbiega od warunków panujących w innych krajach. Wielka Brytania jest tradycyjnym poważnym producentem i eksporterem węgla, przy czym w kraju tym są tylko nieliczne obszary bardziej oddalone od źródeł energetycznych. Fakt ten znajduje odzwierciedlenie w umiarkowanych kosztach wytwarzania energii elektrycznej w roku 1937, jak wykazuje tabl. 1. W roku 1947 natomiast koszty osiągnęły poziom znacznie wyższy z powodu zwiększonego w międzyczasie kosztu wydobywania węgla.

Częściowo zwyżka ta wypływa z przejściowej dezorganizacji, wywołanej przez wojnę, częściowo zaś — z długofalowej tendencji zwyżkowej kosztów w brytyjskim przemyśle węglowym, spowodowanej niedostatecznym stopniem mechanizacji i modernizacji kopalń węglowych w celu przeciwdziałania pogarszaniu się jakości pokładów węglowych. Czy w przyszłości koszty wydobycia węgla ulegną zniżce i w jakim stopniu, zależeć będzie od postępów Wielkiej Brytanii w unowocześnieniu jej przemysłu węglowego. Jeżeli postęp nie będzie znaczny, atom i w tym kraju może okazać się bardziej korzystnym źródłem energii niż węgiel.

Obszar uralski w Z. S. R. R. cechuje inna sytuacja. Koszt wytwarzania energii elektrycznej na tym obszarze znajduje się prawdopodobnie na poziomie mniej więcej jednakowo oddalonym od skrajnych kosztów energii atomowo-elektrycznej, co wskazywało by na wątpliwe korzyści gospodarcze przez stosowanie energii atomowej. Stosunkowo niski koszt energii elektrycznej na Uralu tłumaczy się posiadaniem na miejscu zasobów węgla i lignitu do wytwarzania energii elektrycznej. Jednak w razie dalszego znacznego rozszerzenia się elektryfikacji na tym obszarze, powstała by konieczność sprowadzania węgla z innych obszarów Z. S. R. R. Szacujemy, że koszt dodatkowego zapotrzebowania energii elektrycznej wyniósłby 0,9 do 0,95 c/kWh, a zatem wyraziłby się cyfrą niewiele niższą od górnej granicy kosztów energii atomowo-elektrycznej.

Inne czynniki wywierające wpływ na koszty energii. Obliczenia kosztu energii atomowej dotyczą działu techniki, znajdującego się dopiero u progu swego rozwoju. Znaczne obniżenie kosztów jest możliwe przez postęp w technice budowy i wyzyskania stosu atomowego oraz wydobywania surowca atomowego. Produkcja zaś energii elektrycznej z węgla stanowi dziedzinę dawno opanowaną, która prawdopodobnie nie ulegnie radykalnym zmianom.

Drugą okolicznością, którą należy mieć na względzie, jest to, że dla krajów takich jak Chiny, Indie, Wielka Brytania i Związek Radziecki, oszczędności związane z zastosowaniem energii atomowej, nie mogą być oceniane wyłącznie przez porównanie dzisiejszych kosztów wytwarzania energii elektrycznej ze źródeł atomowych i nieatomowych.

Rozwój elektryfikacji w każdym z tych krajów będzie do pewnego stopnia wymagać znacznych inwestycji kapitału przy rozbudowie źródeł energetycznych: Wielka Brytania będzie może mogła uzyskać w przyszłości tańszą energię elektryczną kosztem inwestycji na wielką skalę, włożonych w unowocześnienie swych kopalń węgla; Chiny, Indie i Związek Radziecki będą może mogły rozszerzyć elektryfikację przez rozbudowę zakładów wodno-elektrycznych lub przez odkrycie nowych kopalni węglowych i modernizację starych. Energia atomowa, samodzielnie czy też w połączeniu z innymi źródłami energetycznymi, może okazać się krótszą drogą do rozwoju elektryfikacji lub wymagającą mniejszych kapitałów inwestycyjnych.

2. Skutki gospodarcze stosowania energii atomowej.

Na podstawie kosztów porównawczych wytwarzania energii elektrycznej ze źródeł atomowych i nieatomowych wydaje się rzeczą możliwą, że energia atomowa może zastąpić lub uzupełnić istniejące w niektórych częściach świata źródła energetyczne i to w czasie najbliższym. Obszary te niekoniecznie będą bardzo odległe od istniejących źródeł energetycznych, bo nawet w Wielkiej Brytanii energia atomowa może okazać się tańszą niż węgiel.

Wywody powyższe należy uważać jako raczej wysuwanie pewnych myśli i byłoby błędem wyciągać z nich wnioski konkretne w odniesieniu do określonych obszarów. Rozważamy tutaj przede wszystkim oszczędności, które mogły by się wyłonić przy zastąpieniu paliw energią atomową do produkcji energii elektrycznej, a następnie rozpatrujemy również niebywałe możliwości rozwoju, które otwiera przed nami energia atomowa.

Ogólna oszczędność w gospodarce np. Stanów Zjednoczonych w wyniku zastosowania tańszego źródła do wytwarzania energii elektrycznej widoczna jest z następujących cyfr ogólnikowych. Ilość paliwa, zużyta w Stanach Zjednoczonych w roku 1942 na wytwarzanie energii elektrycznej przez elektrownie użytkowania publicznego, wynosiła równowartość około 80 milionów ton węgla. Jeśli przyjmiemy koszt paliwa loco elektrownia przeciętnie $ 6 za tonę, otrzymamy sumę około 500 milionów dolarów jako koszt paliwa zużytego przez elektrownie. Cyfra ta, oczywiście, zwiększyłaby się znacznie, gdyby doliczyć koszt paliwa, zużytego przez niektóre zakłady przemysłowe, wytwarzające energię elektryczną dla własnych potrzeb. Ale nawet i wtedy ogólny koszt węgla, zużytego na wytwarzanie energii elektrycznej, wyniósłby ułamek 1% całkowitych wpływów skarbu Stanów Zjednoczonych, wynoszących 150 miliardów dolarów rocznie.

A więc gdyby nawet wszystkie paliwa, dotychczas stosowane w Stanach Zjednoczonych do wytwarzania energii elektrycznej, zastąpić przez paliwo, któreby nic nie kosztowało, oszczędność w ogólnej gospodarce tego państwa byłaby bardzo mała. Oszczędności na jednostkę energii elektrycznej były by większe w krajach, w których koszt paliwa jest wyższy niż w Stanach Zjednoczonych, jednak któreż to z takich państw mogą się zmierzyć ze Stanami Zjednoczonymi pod względem rozwoju elektryfikacji?

Szersze skutki gospodarcze. Powyższe obliczenia nie są miernikiem całkowitego efektu gospodarczego, którego można się spodziewać przez potanienie energii, albowiem najważniejsze znaczenie gospodarcze potanienia energii gdziekolwiek na świecie polega przede wszystkim na rozszerzeniu działalności gospodarczej, które stąd może wyniknąć. Rozbudowa sił wodnych na wielką skalę przez TVA, naprzykład, obniżyła koszt energii w dolinie Tennessee, lecz ta obniżka nie obejmuje pełni skutków gospodarczych, albowiem istotnym skutkiem taniej energii był wielki rozwój życia gospodarczego w okręgu Tennessee.

Dzięki niższej cenie prądu zwiększyło się zapotrzebowanie energii elektrycznej do celów gospodarstwa domowego, co pociągnęło za sobą rozszerzenie sieci przewodów w domach, wprowadzenie nowych urządzeń elektrycznych w gospodarstwie domowym i wiejskim itd. Tania energia stworzyła zachętę do większego uprzemysłowienia przez zastosowanie nowych kombinacji produkcyjnych gospodarczo uzasadnionych. Przemysły, które się najpierw rozwinęły dzięki taniej energii, pociągnęły za sobą najrozmaitsze gałęzie przemysłu wtórnego, wzmacniając i rozszerzając ogólny proces rozwojowy.

Podobny rozwój, w większym lub mniejszym stopniu, mógłby nastąpić i gdzieindziej w wyniku potanienia energii elektrycznej. Liczba ośrodków przemysłowych, które mogą powstać dzięki wyzyskaniu energii atomowej, byłaby znacznie większa niż przy korzystaniu z innych źródeł energii, albowiem energia atomowa nie jest przykuta do określonego miejsca, jak to bywa z energią wodną, ani nie jest obarczona znacznymi kosztami przewozu, jak to jest z paliwem zwykłym. A więc jedną z najbardziej obiecujących korzyści energii atomowej jest możliwość uprzemysłowienia obszarów, położonych zdala od innych źródeł energetycznych. W tym wypadku, jako najpoważniejszy skutek zastosowania energii atomowej uznać należy decydujący wpływ, który energia wywiera na gospodarczy rozwój poszczególnego obszaru; jest on większy niż bezpośredni zysk na cenie prądu przez zamianę jednego źródła energetycznego na inne. Obliczanie różnicy w cenie jednej kilowatogodziny zasłania nam doniosłość energii atomowej dla rozwoju określonych gałęzi przemysłu. Należy przewidywać, że w gospodarce postępowej silny wpływ energii atomowej będzie odczuty przede wszystkim w poważnych gałęziach przemysłu zużywającego duże ilości energii.

Koszty w takich gałęziach przemysłu mogą być znacznie obniżone, bądź przez otrzymanie tańszej energii na obecnych terenach, bądź przez ulokowanie wytwórczości na nowych terenach, mianowicie u źródeł surowców produkcyjnych, dokąd energia atomowa łatwo będzie dostarczona, gdy przedtem surowce musiały być dostarczane do źródeł energii w celu przeróbki, bądź wreszcie przez jednoczesne połączenie tych dwu czynników gospodarczych. Jako typowe przykłady przedsiębiorstw przemysłowych, w których energia atomowa może wywrzeć wpływ zarówno na geograficzne położenie zakładu wytwórczego, jak i na koszty produkcji, wskazać można takie gałęzie przemysłu opartego na procesach elektrycznych, jak wytwórnie aluminium, stopów żelaza i związków chlorowych, a poza tym przemysł, będący poważnym odbiorcą ciepła, jak odlewnie cementownie, huty szklane, fabryki ceramiczne, papiernie. Tabl. 2 podaje te składniki kosztów produkcji aluminium, na które energia atomowa może wywrzeć wpływ.

Tabl. 2. Koszty produkcji aluminium (w blokach) w Stanach Zjednoczonych po wojnie.

	Cent./kg	% ogólnego kosztu
1. Energia do redukcji elektrolitycznej Al (20 kWh na 1 kg metalu)	3,82	19,6
2. Przewóz bauksytu i glinki	2,73	14,0
Z tego: a) przewóz bauksytu z Gujany Holend. do portu Mobile (Alabama)	1,21	6,2
b) przewóz glinki z Mobile do zakładu elektrolitycznego	1,52	7,8
3. Inne koszty	12,90	66.4
Razem:	19,45	100,0

Ponieważ koszt energii stanowi około 20% kosztu gotowego aluminium w blokach, dałoby się przy obniżeniu

kosztów energii uzyskać poważną zniżkę kosztu ogólnego. Wobec dużego zapotrzebowania energii zakłady redukcyjne dla aluminium lokuje się w pobliżu źródeł taniej energii. Zakłady, podane dla przykładu w tabl. 2, korzystają z energii przy przeciętnej cenie poniżej 0,2 cent./kWh. Elektrownie czerpiące energię z atomu mogły by, być może, utrzymać w przyszłości cenę prądu dla fabryk aluminium na tym poziomie, wydaje się jednak rzeczą wątpliwą, czy były by w stanie koszty energii elektrycznej jeszcze dalej obniżyć. Ale w produkcji aluminium jest jeszcze inna poważna pozycja, mianowicie koszty przewozu bauksytu do fabryki glinki i przewozu glinki do fabryki aluminium. Potrzeba około 1,7 t bauksytu na tonę glinki i 2 t glinki na tonę aluminium. Ogółem więc, koszty ogólne produkcji i tony aluminium są obciążone kosztem przewozu 3,4 t bauksytu z Gujany Holend. do Stanów Zjednoczonych i 2 t glinki wewnątrz kraju do miejsca taniej energii elektrycznej.

W obecnych warunkach było by rzeczą jeszcze bardziej kosztowną dowożenie paliwa do miejsca, gdzie się znajdują surowce górnicze (bauksyt), albowiem na każdą tonę redukowanego aluminium potrzeba około 10 t węgla. Obraz gruntownie się zmieni przy stosowaniu energii atomowej, albowiem 1 t surowca atomowego wystarczy do wykonania 250 000 t aluminium. O ileż taniej było by przewieźć 1 t uranu do złóż bauksytu, niż bez mała milion ton (3,4 $\times$ 250 000 = 850 000 t) bauksytu do źródeł energii.

Jak wielkie były by w tym wypadku oszczędności, widać z tabl. 2. Gdyby fabryki aluminium, brane pod uwagę w tej tablicy, przenieść wraz z tanią energią do portu amerykańskiego Mobile, koszt wytwarzania aluminium obniżyłby się o mniej więcej 8 %, a gdyby je przenieść aż do złóż bauksytu w Gujanie Holend., to można by uzyskać oszczędność około 14% w kosztach produkcji.

Oczywiście powyższa kalkulacja nie wystarczałaby do podjęcia produkcji aluminium na n o w y c h obszarach; należy przecież brać pod uwagę również dostępność innych surowców niezbędnych, obecność siły roboczej i jej koszt, koszty przewozu gotowego aluminium na rynki zbytu itd. Nie mniej jednak kalkulacja ta uwypukla charakterystyczne czynniki, które wpływają zasadniczo na kształtowanie się przemysłu aluminiowego, jeżeli tania energia będzie udostępniona tam, gdzie jej potrzeba.

Możliwe, że energia atomowa przyczyni się do potanienia energii w Mobile w Gujanie Holend. lub innych miejscach w takim stopniu, że pociągnie to za sobą wzrost produkcji. Będzie to nie tylko ożywienie działalności gospodarczej w wymienionych punktach. Może to wpłynąć decydująco na obniżenie ceny aluminium, a więc na wzrost zapotrzebowania wyrobów aluminiowych na całym świecie.

3. W n i o s k i.

Dwie główne sprawy — koszt produkcji energii atomowej i gospodarcze skutki jej zastosowania — rozpatrzono wyżej w założeniu, że czynniki gospodarcze miałyby pozostawioną zupełną swobodę w nakreśleniu planu, według którego nowa energia była by eksploatowana. Jednakże olbrzymia doniosłość wojskowa materiałów wybuchowych atomowych uzależnia bezapelacyjnie eksploatację energii atomowej od okoliczności o charakterze niegospodarczym bez względu na to, czy będzie wprowadzona kontrola międzynarodowa, czy nie. W obu wypadkach względy polityczne będą miały pierwszeństwo przed względami czysto gospodarczymi.

Jeśli narody świata nie dojdą do porozumienia w sprawie międzynarodowej kontroli energii atomowej, jest rzeczą prawdopodobną, że nastąpi wyścig zbrojeń atomowych. W tym wypadku, należy przypuszczać, energia atomowa stała by się jedynie produktem ubocznym przy fabrykacji atomowych środków wybuchowych. Wtedy koszt energii atomowej był by ustalony dowolnie i zależałby od udziału wojska w pokryciu wydatków. Wybór miejscowości, w których energia atomowa została by udostępniona, był by uzależniony od względów bezpieczeństwa i mógł by zupełnie nie odpowiadać ważności energii do potrzeb gospodarczych.

C z y n n i k i h a m u j ą c e r o z w ó j. Międzynarodowa kontrola energii atomowej mogła by również sprowadzić poważne komplikacje gospodarcze. Możliwe, że plan takiej kontroli, obejmujący światową energetykę, wprowadziłby pewne ograniczenia co do b u d o w y s t o s u a t o m o w e g o ze względów bezpieczeństwa wojennego. Np. projekt kontroli międzynarodowej opracowany przez Achesona i Lilienthala przewiduje, że niektóre wytwórnie (obejmujące mniej więcej połowę światowej produkcji energii atomowej) powinny być tak zbudowane, że nie mogłyby wytwarzać nowych materiałów, nadających się do rozbijania jąder atomowych. Wprowadzenie podobnych ograniczeń zasadniczych pociągnęłoby za sobą zwiększenie kosztów energii atomowej ponad poziom, który można by uzyskać przy swobodzie w dysponowaniu aparaturą wytwórczą.

Względy bezpieczeństwa mogłyby podyktować poważne ograniczenia co do skali światowego przemysłu atomowego i jego rozlokowania w celu zmniejszenia niebezpieczeństwa zajęcia materiałów lub zakładów. Tego rodzaju czynnik paraliżowałby przynajmniej częściowo doniosłe możliwości energii atomowej w rozbudowie życia gospodarczego na obszarach oddalonych od innych źródeł energetycznych i w powstawaniu nowych dzielnic przemysłowych dzięki udostępnieniu taniej energii. Czy i w jakim stopniu siły polityczne ograniczą korzyści gospodarcze energii atomowej — czas pokaże.

E. T. M.

GOSPODARCZE I TECHNICZNE ZAGADNIENIA PRZESYŁU ENERGII PRĄDEM STAŁYM B. WYSOKIEGO NAPIĘCIA

Ch. Ehrensperger. Einige Gegenueberstellungen der Energie-Uebertragung mit Drehstrom oder Gleichstrom und die technisch reife Loesung der Gleichstrom-Uebertragung. Brown Boveri Mitteilungen, Baden (1945, rok XXXII, nr 9, str. 284—296)

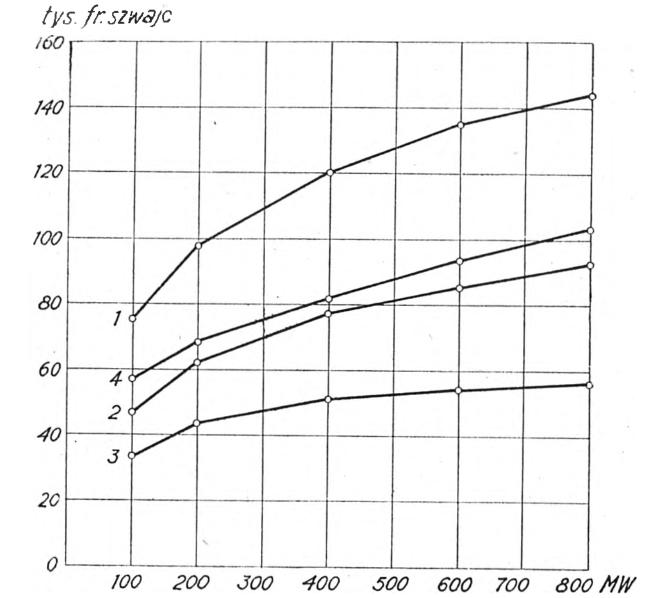
1. Porównanie gospodarcze prądu stałego z trójfazowym.

Zagadnienie przesyłania d u ż y c h ilości energii na w i e l k i e odległości jest na czasie w tych krajach, zmuszonych do oszczędnego używania węgla, które wobec znacznego już wyzyskania bliżej położonych źródeł energii wodnej muszą przystępować do wyzyskania sił wodnych bardzo odległych od ośrodków zużycia energii. Przy przesyłaniu energii na odległości, wynoszące wiele setek kilometrów, tylko prąd stały wchodzi w rachubę ze względu na swą gospodarczą przewagę nad prądem trójfazowym. Jeżeli graniczna odległość, od której zaczyna się przewaga prądu stałego, nie będzie zbyt duża, otworzy się dla tego prądu dalsze pole zastosowania, mianowicie sprzęgania odległych sieci długimi liniami o wielkiej mocy przesyłowej. Przesyłanie energii za pomocą prądu stałego wejdzie w życie wtedy, gdy się uda stworzyć p e w n e w r u c h u stacje krańcowe wielkiej mocy czyli stacje, w których ma się odbywać w dużej skali przekształcanie prądu trójfazowego na stały i odwrotnie stałego na trójfazowy. Osiągnięcie należytej pewności ruchu zależy od postępów w rozwoju przekształtników wysokiego napięcia.

Porównując w r. 1941 gospodarność przesyłania energii za pomocą prądu trójfazowego i prądu stałego, firma Brown Boveri doszła do wniosku, że przy odległościach powyżej 200—300 km prąd stały ma gospodarczą przewagę nad prądem trójfazowym. Od tego jednak czasu i przesyłanie prądem trójfazowym poczyniło postępy. Gdy w 1941 r. uważano, że stateczność przesyłu i kompensacja prądów biernych mogą być osiągnięte w układzie trójfazowym jedynie przez umieszczenie wzdłuż linii tak zw. „stacji wsporczych", to w 1945 r. wymieniona firma miała już inne rozwiązanie, pozwalające przesyłać energię za pomocą prądu trójfazowego bez zastosowania „stacji wsporczych" na znacznie większe odległości, niż to uważano za możliwe przedtem. Rozwiązanie to polega na zastosowaniu specjalnych maszyn asynchronicznych lub na odpowiednim regulowaniu wzbudzenia maszyn synchronicznych. Wobec takiego postępu firma uważa, że należy podwyższyć graniczną odległość, poza którą prąd stały ma gospodarczą przewagę nad trójfazowym.

Przewaga ta polega głównie na tym, że koszty budowy linii przesyłowej na prąd stały są znacznie mniejsze. Rys. 1 przedstawia porównanie kosztów budowy linii przy prądzie stałym i trójfazowym w zależności od mocy. Podane koszty budowy dotyczą całkowicie zmontowanych linii i obejmują dla linii napowietrznych przewody miedziane,

linki uziemione z ocynkowanej stali, uziemienia słupów, izolatory, zaciski i armaturę, słupy z ocynkowanej stali, fundamenty, montaż, prawo przejścia przez teren, wykona-



Rys. 1. Koszty budowy 1 km linii przesyłowych na prąd trójfazowy i stały w zależności od mocy przy jednakowych stratach, wynoszących 1% na 100 km (we frankach szwajc. według cen 1939 r.)

1 prąd trójfazowy, linia napowietrzna dwutorowa na 150—400 kV
2 prąd stały, linia napow. dwutorowa na 300—600 kV
3 prąd stały, linia napow. jednotorowa na 300—800 kV
4 prąd stały, linia kablowa dwutorowa na 400—700 kV

nie pomiarów w terenie, wykonanie projektów i różne. Krzywa *4* dla linii podziemnej jest do 600 kV wykreślona dla kabli zwykłych („masowych"), a przy wyższych napięciach dla kabli olejowych*). Koszty budowy linii podziemnej obejmują: kable z osprzętem (dla kabli olejowych naczynia ekspansyjne), roboty ziemne, piasek i kamienie przykrywające, studzienki, odszkodowania terenowe, układanie kabli oraz nieprzewidziane wydatki.

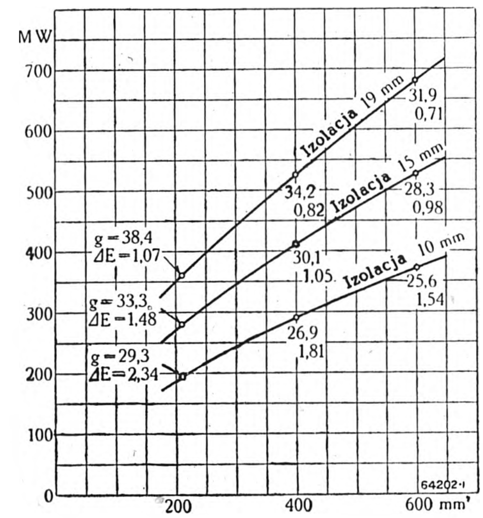
Koszty budowy linii na prąd stały są o tyle niższe niż na prąd trójfazowy, że przy większych odległościach przyszłość bezwzględnie należeć będzie do prądu stałego. Linia według krzywej *3* jest równoważna dwutorowej linii prądu trójfazowego według krzywej *1* w założeniu, że w razie uszkodzenia jednego przewodu przejściowo będzie dopuszczalny powrót przez ziemię. Porównanie krzywych *2* i *3* pokazuje, jakie oszczędności są możliwe, o ile to założenie jest spełnione.

Pewność ruchu linii prądu stałego według krzywej *3* jest większa niż przy dwutorowej linii trójfazowej, gdyż prawdopodobieństwo uszkodzeń na linii o dwóch przewodach jest mniejsze niż na linii o sześciu przewodach. Z drugiej strony trzeba przyznać, że urządzenia przetwórcze na początku i na końcu linii prądu stałego wprowadzają do nowego systemu przesyłania energii dalszy człon narażony na zakłócenia ruchu. Można temu zaradzić przez ustawianie grup rezerwowych.

Dopuszczalność przejściowego powrotu prądu przez ziemię jest konieczna nie tylko przy przesyłaniu energii za pomocą prądu stałego, ale również przy prądzie trójfazowym. Zdaniem inżynierów firmy Brown Boveri na prądzie trójfazowym przy bardzo wysokich napięciach można stosować tylko połączenie w gwiazdę z bezpośrednio uziemionym zerem. Zakłócenia w jednobiegunowych przewodach sygnalizacyjnych i telefonicznych mogą się pojawiać zarówno przy systemie trójfazowym z uziemionym punktem zerowym, jak i przy systemie prądu stałego z powrotem przejściowo przez ziemię. Rozwiązanie tego zagadnienia musi nastąpić niezależnie od systemu przesyłania energii.

*) Przy obliczeniu kosztów kabla przyjęto następujące grubości izolacji:
napięcie 400/200 kV, kabel „masowy", 10 mm
„ 600/300 kV, „ „ 15 „
„ 800/400 kV, „ „ 19 „
„ 800/400 kV, kabel olejowy, 18 „
Kable te pozwalają przy ułożeniu w ziemi i temperaturze przewodu 60°C przesłać moce, podane na rys. 2. Do ochrony zewnętrznej kabla przewidziano pancerz stalowy i oplot jutowy (P. Muller & R. Bernard. Gleichstrom-Hochspannungskabel. Brown Boveri Mitt., 1945, r. XXXII, nr 9, str. 296—297).

Powody, dla których linia prądu stałego jest znacznie tańsza od trójfazowej, mającej takie same straty, polega na współdziałaniu kilku zalet prądu stałego, których prąd trójfazowy nie posiada, a mianowicie:



Rys. 2. Zdolność przesyłowa kabla prądu stałego w zależności od przekroju

g największe natężenie pola na przewodzie w kV/mm
ΔE spadek napięcia na 100 km w dwu przewodach w %

1) mniejsza liczba przewodów, a zatem mniej izolatorów i prostsza konstrukcja słupów;

2) wykorzystanie izolacji do wartości największej napięcia, tzn. że w linii o danej izolacji względem ziemi dopuszczalne jest dla prądu stałego napięcie $\sqrt{2}$ razy wyższe; zarazem ze względu na zjawisko ulotu przy danej średnicy przewodów i danym ich odstępie na prądzie stałym dopuszczalne jest napięcie między przewodami $\frac{2 \times \sqrt{2}}{\sqrt{3}} = 1{,}63$ razy wyższe niż na prądzie trójfazowym;

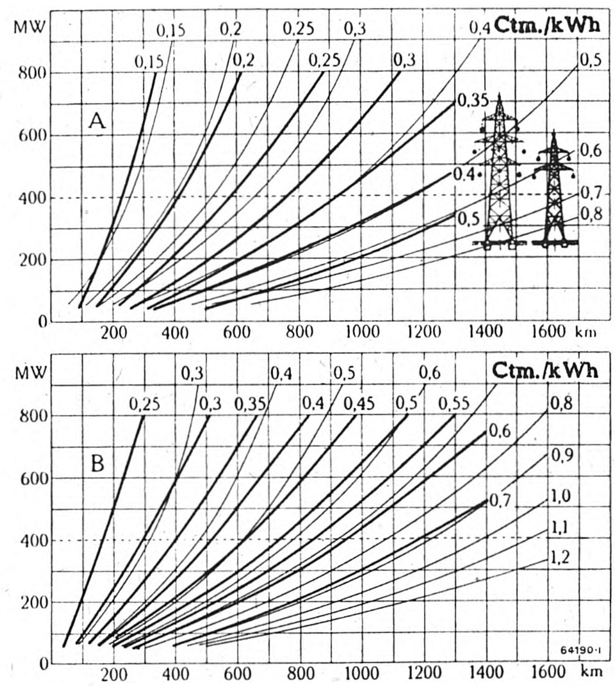
3) dla prądu stałego można do bardzo wysokich napięć używać linek pełnych, gdyż naskórkowość tu nie występuje. Można więc z powodu większych dopuszczalnych przekrojów z jednakowymi stratami obrać niższe napięcie niż przy użyciu linek pustych. Przewody dla prądu stałego mogą w odniesieniu do jednakowej średnicy i długości być o wykonaniu znacznie cięższym niż przy prądzie trójfazowym, wskutek czego przy zaniku ciężaru dodatkowego (sadzi) podskok przewodów, a zatem niebezpieczeństwo wzajemnego ich zetknięcia się zmniejsza się, prócz tego mniejsze jest wychylenie linek pod działaniem wiatru. W budowie linii osiąga się więc oszczędności po pierwsze na słupach, których wysięgniki stają się krótsze, a po drugie na przewodach, gdyż linki puste o cienkich ściankach są przy jednakowym ciężarze droższe niż linki o grubych ściankach.

Z rys. 1 wynika, że koszty budowy linii kablowych zaledwie nieznacznie różnią się od kosztów budowy linii napowietrznych o tej samej liczbie przewodów i przy tych samych stratach. Niebawem nie będzie już zagadnienia, czy przesyłać energię za pomocą prądu trójfazowego czy stałego, lecz czy budować linie napowietrzne czy też kablowe. Odpowiedź na ostatnie pytanie zależy nie tylko od kosztów budowy, lecz także od szeregu innych czynników. Wystarczy uprzytomnić sobie wielkie korzyści techniczne linii kablowej w porównaniu z napowietrzną: nie ulega ona wpływom atmosferycznym, może służyć do wykonania połączeń zamorskich, umożliwia doprowadzenie bardzo wysokich napięć do środka miasta.

Możliwe oszczędności na kosztach budowy linii prądu stałego w porównaniu z linią trójfazową będą musiały przewyższyć koszty d o d a t k o w e obu stacji przekształtnikowych na początku i na końcu linii prądu stałego, żeby porównanie gospodarcze wypadło na korzyść prądu stałego.

Należy pamiętać, że w stacji odbiorczej na końcu linii muszą być ustawione nie tylko przekształtniki, ale i kompensatory synchroniczne lub kondensatory statyczne celem wytwarzania prądu biernego, niezbędnego do komutacji przekształtników. Dla sumiennego porównania gospodarczego trzeba obok kosztów budowy uwzględnić jeszcze trzy następujące czynniki: 1) koszty oprocentowania, amortyzacji, utrzymania i ruchu, 2) cenę energii na początku linii, od czego zależy koszt strat w ciągu roku przy przesyłaniu energii, i 3) roczny czas użytkowania szczytu. Znaczenie i wpływy wszystkich tych czynników mogą być prawidłowo uwzględnione tylko na zasadzie kosztów rocznych, lub jeszcze lepiej na zasadzie kosztów przesyłania energii na 1 kWh.

Dla określonego wypadku przesyłu energii, tj. dla danej odległości, mocy przesyłowej, liczby torów oraz dla danego systemu, można z uwzględnieniem powyższych czynników obliczyć najkorzystniejszą pod względem najniższych kosztów przesyłania energii linię, która ze swej strony odpowiadałaby najkorzystniejszemu pod względem gospodarczym napięciu i najkorzystniejszemu przekrojowi przewodów. Takie obliczenia przeprowadzono dla dwutorowej linii trójfazowej bez stacji kompensacyjnych i bez dodatkowych kosztów na utrzymanie stateczności ruchu, oraz dla czteroprzewodowej linii prądu stałego. Wyniki są zestawione na rys. 3, gdzie w zależności od mocy i odległości podano dla obu systemów krzywe jednakowych kosztów przesyłu energii w centymach szwajc. na 1 kWh. Jak widać z objaśnień do wykresów, krzywe A są oparte na korzystnych, a krzywe B na niekorzystnych założeniach. Punkty przecięcia krzywych jednakowych kosztów przesyłu energii prądem trójfazowym i stałym wskazują, przy jakiej odległości przesyłania prąd stały według obecnego stanu naszych wiadomości i na zasadzie cen z 1939 r. ma przewagę pod względem gospodarczym nad prądem trójfazowym.

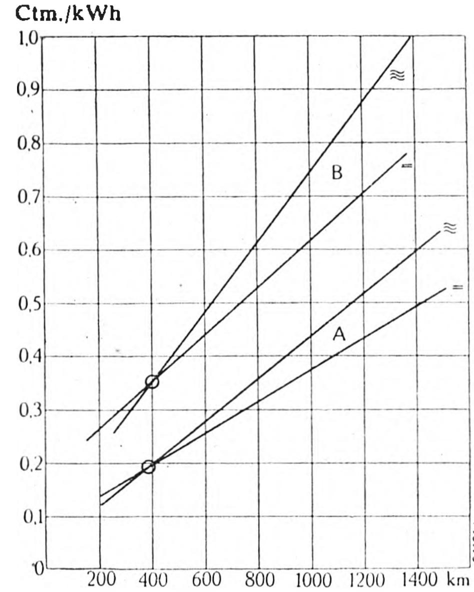


Rys. 3. Porównanie pod względem gospodarczym przesyłu energii prądem trójfazowym i stałym na podstawie cen z 1939 r.

Rysunek podaje krzywe jednakowych kosztów przesyłu w zależności od mocy i odległości. Cienkie linie — prąd trójfazowy, grube linie — prąd stały

	A. Założenia korzystne	B. Założenia niekorzystne
Koszty roczne na amortyzację, oprocentowanie, utrzymanie i ruch (%)	8,5	10,5
roczny czas użytkowania szczytu (h)	8 000	6 000
na energii na początku linii (cent. szw./kWh)	0,7	1,4

Żeby przewagę gospodarczą prądu stałego nad trójfazowym wyraźniej uwidocznić, podano na rys. 4 (na podstawie danych z rys. 3) koszty przesyłu w funkcji odległości przykładowo dla 400 MW mocy przesyłowej. Rys. 4 wskazuje, że odległość graniczna wynosi około 400 km. Oczywiście, wykresy dają obraz jedynie orientacyjny, gdyż wystarczy zmiana jednego z uwzględnianych w obliczeniu czynników, by punkt przecięcia krzywych przesunął się.



Rys. 4. Określenie granicznej odległości, poza którą przesył mocy 400 MW jest na prądzie stałym korzystniejszy niż na trójfazowym.

Przewaga prądu stałego musi być nie tylko udowodniona obliczeniami, lecz musi rzeczywiście być taka duża, by przy zastosowaniu skomplikowanego systemu przesyłania energii prądem stałym wynikała istotnie znaczna korzyść. Wydaje się więc odległość ok. 500 km za praktycznie racjonalną granicę dla powyższego przykładu. Gdybyśmy zaś przeprowadzali porównanie między linią dwutorową prądu trójfazowego, a linią dwuprzewodową prądu stałego na zasadzie krzywych *1* i *3* rys. 1, doszlibyśmy do wyniku, że gospodarcza przewaga prądu stałego nad trójfazowym znajduje się już poniżej 200 km. Granica odległości, ponad którą prąd stały ma przewagę gospodarczą nad trójfazowym, zależy nie tylko od wchodzących w grę zmiennych cech linii, lecz przede wszystkim od tego, czy w razie zakłócenia pracy dopuszczalny będzie przejściowo powrót prądu przez ziemię, czy też nie. Granica odległości wynosić będzie 200 km, jeśli tak, i ok. 500 km, jeśli nie.

Gdy gdziekolwiek na świecie przesył energii za pomocą prądu stałego stanie się faktem dokonanym i będzie zdobyte dostateczne doświadczenie, przesył taki będzie niezawodnie wyzyskany także do łączenia wielkich sieci pomiędzy sobą, których obszary są tak rozległe, że stają się niezbędne bezpośrednie połączenia na odległości kilkuset kilometrów.

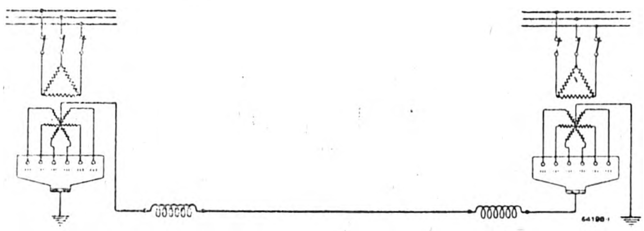
2. Rozwój przesyłu prądem stałym .

Powodem, dla którego przesył energii prądem stałym pomimo niższych kosztów linii nie został jeszcze wprowadzony, jest to, że opracowanie przekształtników, niezbędnych do przetwarzania prądu trójfazowego na stały i, odwrotnie, stałego na trójfazowy nie jest jeszcze zakończone. Dotychczasowy i przyszły rozwój daje się ująć w trzy etapy.

P i e r w s z y e t a p — p o d w y ż s z e n i e n a p i ę c i a. W związku z V Szwajcarską Wystawą Krajową w 1939 r. firma BBC wykonała przesyłanie 500 kW za pomocą prądu stałego z Wettingen do Zurychu na odległości ok. 20 km jednym tylko przewodem z powrotem przez ziemię (rys. 5). Instalacja była czynna w ciągu całego trwania wystawy przez 6 miesięcy. Przejściowo podwyższano nawet moc, o ile transformatory na to pozwalały, do 1000 kW. Wyniki ruchu wykazały, że jednym przekształtnikiem można osiągnąć napięcie stałe 50 kV, tj. napięcie zaporowe ok. 100 kV, przy czym zarówno przekształcanie prądu trójfazowego na stały, jak i stałego na trójfazowy jest możliwe.

D r u g i e t a p — p o w i ę k s z e n i e n a t ę ż e n i a p r ą d u. Następny krok polegał na dążeniu do osiągnięcia jak naj-

większych mocy, a więc znacznego powiększenia natężenia prądu. Przy pomocy zaworów anodowych nowej konstrukcji udało się firmie BBC cel ten osiągnąć. Zdecydowano się na wykonanie większej instalacji próbnej jednofazowej celem zbadania zaworów drogą dłuższych prób przy dużym obciążeniu.

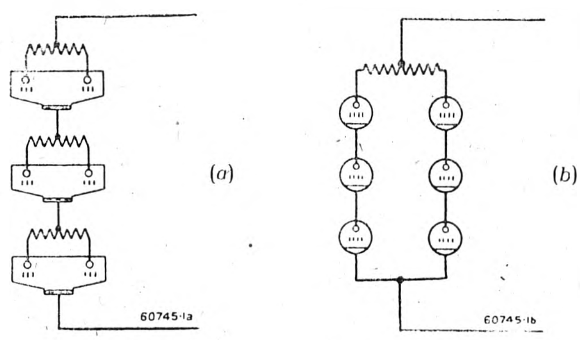


Rys. 5. Schemat urządzenia przesyłowego na prądzie stałym jednoprzewodowego z powrotem przez ziemię (Wettingen—Zurych, 1939 r.)

W instalacji tej ustawiono stację odsyłową i stację odbiorczą obok siebie. Celem osiągnięcia możliwie największych natężeń prądu na każdy przekształtnik włączono równolegle po trzy anody na fazę przez dławiki anodowe. Wyniki tych prób wykazały, że z zastosowanymi zaworami możliwe jest osiągnięcie 400 A prądu stałego przy największej wartości napięcia zaporowego 130 kV. Napięcie stałe wynosiło przy tym w układzie jednofazowym 30 do 35 kV.

Przy tych na wielką skalę przeprowadzonych próbach nie udało się jeszcze osiągnąć ruchu bez zapłonu zwrotnego. W nielicznych wypadkach, w których zapłon zwrotny się zdarzał, bywał on prawidłowo gaszony przez sterowanie siatkami bez wyłączania po stronie prądu zmiennego. Przerwa w dostawie energii bywała bardzo krótka, praktycznie biorąc ledwie dostrzegalna. Jakkolwiek sterowanie siatkowe doskonale gasi zapłon zwrotny, jednak dla dużej instalacji przesyłowej zapłon zwrotny nie powinien występować wcale lub nader rzadko, największe bowiem znaczenie ma pewność ruchu.

Na podstawie dotychczasowych doświadczeń występowania zapłonu zwrotnego w przekształtniku daje się wytłumaczyć jedynie współdziałaniem kilku niekorzystnych okoliczności. Wiele powodów zapłonu zwrotnego już poznano, istnieje jednak jeszcze wiele takich, których nie znamy dokładnie lub wcale. Trzeba sobie uprzytomnić, że anoda będącego w ruchu przekształnika ma sposobność do tworzenia zapłonu zwrotnego raz na każdy okres prądu zmiennego, a więc okazji tego rodzaju jest przeszło cztery miliony na dobę i na każdą anodę. Jeżeli więc zależnie od konstrukcji i obciążenia przekształtnika zapłon zwrotny pojawia się w odstępach godzinnych, dziennych, miesięcznych lub jeszcze dłuższych, to mamy tu do czynienia z wydarzeniem rzeczywiście bardzo rzadkim.



Rys. 6. Niekorzystne (*a*) i korzystne (*b*) połączenia szeregowe

Przypadkowość powstawania zapłonu zwrotnego można wykorzystać przy pomocy odpowiednich połączeń do zmniejszenia prawdopodobieństwa tworzenia się go.

Z porównania układów *a* i *b* na rys. 6 wynika, że w przypadku *b* prawdopodobieństwo zapłonu zwrotnego jest mniejsze. Jeżeli anoda w układzie *a* ma skłonność do tworzenia zapłonu zwrotnego, to zapłon taki łatwo powstaje, ponieważ dwie anody o różnym potencjale znajdują się w tym samym naczyniu i ta różnica potencjałów zasila prąd zapłonowy, sprowadzający zwarcie odpowiedniej fazy transformatora. Natomiast według układu *b* nie mamy w tym samym naczyniu dwu anod o różnym potencjale i możliwy prąd zwrotnozapłonowy musiałby przepłynąć przez trzy włączone w szereg naczynia, żeby się rozwinąć w zwarcie, a do tego trzeba, żeby skłonność do utworzenia zapłonu zwrotnego istniała w trzech w szereg włączonych naczyniach jednocześnie, tzn. w ciągu tego samego okresu prądu zmiennego. Taki zbieg okoliczności należy do mało prawdopodobnych w dobrze zbudowanych przekształtnikach.

Trzeci etap — wprowadzenie stałoprądowego przesyłu w praktyce. Na podstawie dotychczasowych prób nic już nie stoi na przeszkodzie wprowadzeniu w życie w skali przemysłowej przesyłania wielkich ilości energii na dalekie odległości za pomocą prądu stałego. Ze względu na ryzyko, połączone zawsze z wprowadzaniem nowego systemu, zalecałoby się istniejącą linię trójfazową wyzyskać najpierw na prąd stały z użyciem przekształtników. Na wszelki wypadek należy przy tym zachować możność przesyłania energii wedle potrzeby również prądem trójfazowym. Podczas pracy na prądzie stałym jeden z przewodów będzie zbędny i służyć będzie jako rezerwa. Jeżeli taka instalacja przetrwa w ruchu w ciągu jednego roku z dobrym wynikiem, będzie można powiedzieć, że przesyłanie energii za pomocą prądu stałego jest w praktyce wprowadzone.

Gdy pierwsza instalacja będzie czynna, trzeba będzie wykonać próbę przesyłania całej energii jednym przewodem z drogą powrotną przez ziemię i rozwiązać powstające przy tym zagadnienia. Od wyników takich prób zależy bardzo wiele. Jeżeli one się udadzą, będzie możliwe budowanie znacznie tańszych linii przesyłowych, niż to jest do pomyślenia przy wszelkim innym systemie.

J. Fud.

SPRAWY RUCHOWE PRZY PRZESYLE ENERGII PRĄDEM STAŁYM

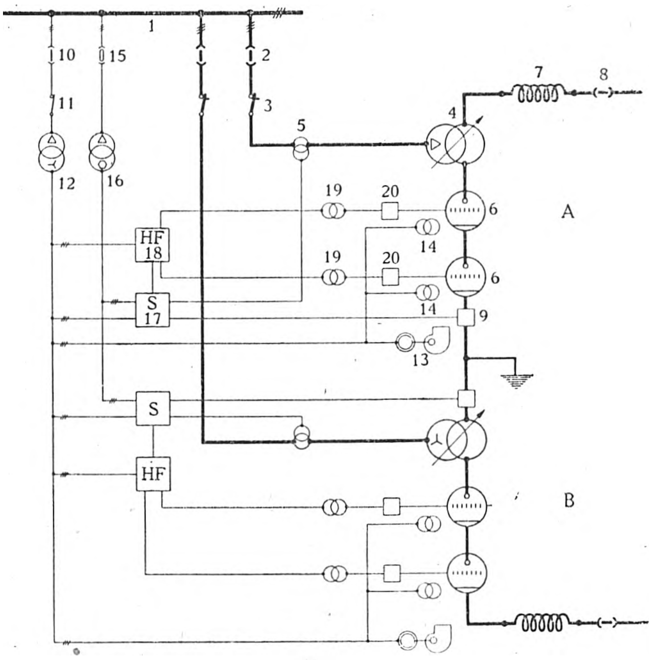
Ch. Ehrensperger. Betriebsfragen bei der Gleichstrom-Hochspannungs-Uebertragung der Zukunft. Brown Boveri Mitteilungen, Baden (1945, rok XXXII, nr 9, str. 322—324)

a) Układ połączeń stacji krańcowej. Wytwarzanie i rozdział energii odbywa się w formie prądu trójfazowego. Przekształtniki przetwarzają na jednym krańcu linii przesyłowej prąd trójfazowy w stały, na drugim krańcu prąd stały w trójfazowy. Układ połączeń stacji krańcowej w przypadku linii przesyłowej dwuprzewodowej z uziemionym punktem środkowym jest podany na rys. 1. Linię zasilają dwie grupy przekształtników A i B, otrzymujące energię z sieci trójfazowej *1* przez wyłączniki *3* i transformatory *4*. Każdą grupę można włączyć niezależnie od drugiej. Gdy pracuje jedna grupa, przesył odbywa się przez jeden przewód z powrotem przez ziemię. Przy pracy obu grup A i B pożądane jest 12-fazowe oddziaływanie zwrotne na sieć trójfazową, co osiąga się przez to, że jeden z transformatorów *4* jest połączony od strony tej sieci w trójkąt, drugi w gwiazdę. Do „wygładzenia" prądu stałego służą dławiki *7*; redukują one do nieznacznej wartości prąd wyższych harmonicznych, który mógłby przepłynąć przez ziemię wskutek dużej pojemności linii napowietrznej względem ziemi oraz wskutek sześciofazowej falistości każdej z dwu grup A i B.

Układ zasadniczy na rys. 1 odpowiada w szczególności stacji odsyłowej. Układ stacji odbiorczej różni się tym, że ta stacja musi posiadać jeszcze maszyny synchroniczne lub kondensatory statyczne, jeżeli istniejące w zasilanej sieci odbiorczej kompensatory synchroniczne nie wystarczają do pokrycia mocy biernej, wymaganej przez przekształtniki, albowiem ze względu na komutację przekształtników trzeba się liczyć na stacji odbiorczej ze współczynnikiem mocy cos φ około 0,8.

Ponieważ poszczególne przekształtniki znajdują się względem siebie pod napięciem, konieczne jest izolowanie każdego z nich z osobna, a to pociąga za sobą potrzebę izolowania urządzeń pomocniczych względem ziemi. Na potrzeby tych urządzeń, a więc do zasilania pomp, do zapalania i wzbudzania poszczególnych przekształtników służą transformatory izolacyjne *14*, zasilane z kolei przez transformator stacyjny *12*. W ten sposób można wszystkie urządzenia pomocnicze obsługiwać z miejsca o potencjale ziemi. Chłodzenie poszczególnych przekształtników odbywa się przy pomocy powietrza w obiegu kołowym. Wentylator *13* chłodzi dwa przekształtniki jednej grupy.

b) S t e r o w a n i e. Przyrządy sterownicze powinny nadawać do poszczególnych przekształtników, będących pod napięciem, bodźce sterownicze o przepisanym kształcie



Rys. 1. Stacja krańcowa (odsyłowa) linii przesyłowej prądu stałego dwuprzewodowej z uziemionym punktem środkowym;

1 sieć trójfazowa, *2* odłącznik, *3* wyłącznik, *4* transformator regulowany *5* transformatorek prądowy, *6* przekształtnik, *7* dławik, *8* odłącznik, *9* urządzenie regulacyjne zależne od pradu, *10* odłącznik, *11* wyłącznik, *12* transformator pomocniczy, *13* zespół wentylatorowy, *14* transformator izolacyjny do zasilania urządzeń pomocniczych przekształtnika, *15* bezpiecznik odłącznikowy, *16* transformator sterowniczy, *17* statyczna aparatura sterownicza, *18* nadajnik dużej częstotliwości, *19* transformator izolacyjny dużej częstotliwości, *20* urządzenia odbiorcze do demodulacji dużej częstotliwości, zasilającej siatki sterownicze.

krzywej i o regulowanej fazie. Ponieważ słuszną jest rzeczą utrzymywać całą aparaturę sterowniczą na potencjale ziemi, potrzebne są specjalne środki do przekazywania bodźców poszczególnym izolowanym przekształtnikom.

Jak widać z rys. 1, urządzenia sterownicze są zasilane z transformatora *16*, który po stronie wtórnego napięcia ma uzwojenie wielobokowe z wielu zaczepami, żeby można było dowolnie dobierać fazy dla poszczególnych obwodów urządzenia sterowniczego. Wytwarzane w aparaturze sterowniczej bodźce kształtu prostokątnego służą do modulacji nadajników dużej częstotliwości *18*. Modulowany prąd dużej częstotliwości sprowadza się do potencjału poszczególnych przekształtników za pomocą uziemionych kabli dużej częstotliwości przez transformator izolacyjny *19*. Oba w szereg włączone przekształtniki otrzymują jednakowe bodźce sterownicze. Modulowana duża częstotliwość ulega demodulacji w aparacie odbiorczym *20* i doprowadza się do siatek przekształtnikowych *6* pod postacią małej częstotliwości. Duża częstotliwość demodulowana na potencjał przekształtnika jest odbiciem bodźców sterowniczych, wytworzonych na potencjał ziemi. Dzięki takiemu urządzeniu można dowolnie sterować wszystkie siatki poszczególnych przekształtników przez oddziaływanie na aparaturę sterowniczą *17* mającą potencjał ziemi.

c) R e g u l o w a n i e m o c y. Moc przenoszona zależy od napięcia prądu stałego na obu krańcach linii i od oporu linii. Wymienione zaś napięcia zależą z kolei od napięć i spadków napięć w przynależnych sieciach trójfazowych oraz od nastawienia aparatury sterowniczej. Dla osiągnięcia najlepszego $\cos\varphi$ usiłujemy regulować przy pomocy sterowania siatkowego w możliwie wąskich granicach. Dla osiągnięcia większych zmian nastawia się zaczepami transformatorów *4* napięcie trójfazowe, doprowadzane do przekształtników. Przy regulacji ręcznej i stałym nastawieniu aparatury sterowniczej *17* prąd w linii, a więc i przenoszona moc pozostają bez zmiany, póki napięcia w sprzężonych przez linię sieciach trójfazowych nie ulegną zmianie. Ze wzrostem napięcia trójfazowego na krańcu odsyłowym lub ze spadkiem tegoż napięcia na krańcu odbiorczym zwiększa się prąd stały, a więc i przenoszona moc.

Aparaturę sterowniczą można regulować na dowolnym krańcu lub na obu krańcach jednocześnie. Na stacji odbiorczej usiłujemy wybrać najkorzystniejszy dla ruchu punkt zapłonu ze względu na możliwą granicę chwiejności przekształtnika-falownika (ondulatora) oraz na współczynnik mocy. Wobec tego wydaje się rzeczą słuszniejszą całe regulowanie samoczynne mocy przenieść na stację odsyłową. Pożądane jest, aby ono działało z wyłączeniem bezwładności (a więc należy stosować np. rury elektronowe). Można regulować w rozmaity sposób, np. na stałe natężenie prądu w linii stałoprądowej przy pomocy czułego przyrządu *9*, który oddziaływa bezpośrednio na aparaturę sterowniczą *17*. Można również stosować regulator, który bezpośrednio mierzy pobieraną moc prądu trójfazowego i oddziaływa na aparaturę sterowniczą w ten sposób, aby ta moc pozostawała stała. Oczywiście, powinno się mieć możność nastawiania regulacji na dowolną wielkość (bezpośrednio ręcznie lub z odległości.

Zmianę kierunku przesyłu energii osiągamy przez manipulacje w aparaturze sterowniczej *17* na obu krańcach. Zaleca się najpierw na stacji odsyłowej sprowadzić moc do zera i przestawić tę stację na odbiorczą; potem przestawia się stację odbiorczą na odsył i reguluje się na potrzebną moc.

d) Z a b e z p i e c z e n i e. Zakłócenia ruchu na linii nie powinny pociągać szkodliwych następstw ani dla stacji odsyłowej i odbiorczej, ani dla sieci trójfazowych na obu krańcach, przy czym ruch powinien być utrzymany bez przerwy.

W razie zerwania jednego przewodu ustaje, oczywiście, dostawa energii z odpowiedniej grupy, którą należy wtedy odłączyć aż do usunięcia uszkodzenia. Druga grupa może utrzymać ruch, korzystając z ziemi jako przewodu powrotnego, i w razie potrzeby może być przeciążona.

W razie zwarcia z ziemią jednego przewodu linii czuła aparatura *9* samoczynnie i w sposób wybiorczy tak oddziaływa na sterowanie odpowiedniej grupy w stacji odsyłowej, że siatka otrzymuje potencjał ujemny, który po chwili samoczynnie wraca do wartości pierwotnej; sterowanie na stacji odbiorczej nie podlega przy tym żadnemu oddziaływaniu. W wyniku tego zabiegu energia magnetyczna dławika *7* i przewodu prądu stałego przenosi się do sieci trójfazowej, a prąd w przewodzie spada do zera. Jeżeli uziemienie miało charakter przejściowy, to wraz z przywróceniem właściwego potencjału siatki wraca również prąd stały w chwilowo porażonym przewodzie. Jeżeli natomiast uziemienie jest trwałe, to wyłącznik *3* samoczynnie przewód wyłączy. W ten sposób dzięki sterowaniu siatkowemu zwarcia krótkotrwałe w linii likwiduje się momentalnie.

Zakłócenia w przekształtnikach stacji odbiorczej mają taki sam skutek, jak uziemienia na linii, a więc unieszkodliwia się je przy pomocy urządzeń sterowniczych na stacji odsyłowej. Zakłócenia w przekształtnikach stacji odsyłowej likwiduje się w podobny sposób, gdyż prąd zwarcia oddziaływa przez transformatorek prądowy *5* na urządzenia sterownicze *17*.

Wszelkie uszkodzenia w aparaturze pomocniczej i sterowniczej są wykrywane przez odpowiednie urządzenia sygnalizacyjne natychmiast i w sposób wybiorczy.

Zakłócenia (np. zwarcia) w sieci trójfazowej odbiorczej można unieszkodliwić dla samego przesyłu przez dodatkowe szybko działające urządzenie regulacyjne, oddziaływujące na sterowanie stacji odbiorczej. Zwarcia w sieci trójfazowej na krańcu odsyłowym pociągają za sobą nieuniknione krótkotrwałe zmniejszenie przesyłanej mocy, jeżeli ich nie zlikwiduje samoczynna i nie obarczona wadą bezwładności regulacja mocy.

Powyższe uwagi dotyczą linii przesyłowej prądu stałego, łączącej jeden ośrodek wytwórczy z jednym ośrodkiem odbiorczym. Gdyby ta sama linia przesyłowa miała zasilać dwie lub więcej stacji odbiorczych w różnych punktach, wtedy w każdym odgałęzieniu należy umieścić wyłącznik s t a ł o p r ą d o w y na wysokie napięcie, który w sposób wybiorczy odetnie uszkodzoną część sieci. Dotychczasowe prace nad zbudowaniem takiego wyłącznika zapowiadają pomyślne wyniki.

S. E. P.
KOMUNIKATY

1. **Nowe wydawnictwo SEP.** Zarząd Główny postanowił wydać książkę prof. inż. E. Jezierskiego p.t „Transformatory".

2. **Kandydatury na członków SEPu.** W myśl § 10 statutu SEPu ogłasza się następującą listę kandydatów na członków zwyczajnych Stowarzyszenia:

ODDZIAŁ OPOLSKI

Kular Tadeusz, Opole, Pasieczna 11 m. 1
Zboś Włodzimierz, Nysa, Słowiańska 31 m. 17

ODDZIAŁ POMORSKI

Bańkowski Henryk, Bydgoszcz, 20 Stycznia 6
Baranowski Bolesław, Bydgoszcz, Chełmińska 18 m. 2
Baszyński Józef, Bydgoszcz, Al. 1 Maja 11 m. 7
Bąkowski Florian, Bydgoszcz, Zaścianek 8
Bogusławski Stanisław, Bydgoszcz, Siemiradzkiego 2 m. 2
Brejt Leon, Bydgoszcz, Fordońska 110a
Ćwik Hieronim, Bydgoszcz, Bocianowo 41 m. 3
Ganckowski Jan, Bydgoszcz, Różana 16 m. 9
Goncerzewicz Roman, Bydgoszcz, Długa 8 m. 6
Gwiazdowski Władysław, Bydgoszcz, Śląska 6 m. 6
Kempka Stefan, Bydgoszcz, Moniuszki 7
Koralewicz Czesław, Bydgoszcz, Mazowiecka 18 m. 3
Lemiesz Bolesław, Bydgoszcz, Fordońska 112a
Lewandowski Teofil, Bydgoszcz, Grunwaldzka 98
Lizurek Stanisław, Bydgoszcz, Długosza 11 m. 3
Musioł Paweł, Bydgoszcz, Żnińska 25 m. 4
Musolf Anastazy, Bydgoszcz, Lenartowicza 26 m. 4
Nowaczyk Zygmunt, Bydgoszcz, Biedaszkowo 18
Okuniewicz Edmund, Bydgoszcz, Kraszewskiego 7 m. 2
Pawluk Edmund, Bydgoszcz, Ryszewskiej 76 m. 1
Peda Jan, Bydgoszcz, Sułkowskiego 6 m. 2
Pepliński Maksymilian, Bydgoszcz, Al. 1 Maja 27
Preiss Łucjan, Bydgoszcz, Chocimska 3 m. 2
Przyborski Jan, Bydgoszcz, Stroma 21
Siadkowski Edmund, Bydgoszcz, Mazowiecka 3
Siwka Wacław, Bydgoszcz, Fordońska 110b
Szczepaniak Tadeusz, Bydgoszcz, Sułkowskiego 6 m. 1
Tyszkiewicz Czesław, Żur, pow. Świecie
Wojtynowski Bronisław, Bydgoszcz, Huzarska 6
Woroniecki Kazimierz, Bydgoszcz, Kilińskiego 23 m. 1

ODDZIAŁ POZNAŃSKI

Szarzyński Wacław, Poznań, Emilii Sczanieckiej 7 m. 10

ODDZIAŁ RADOMSKO-KIELECKI

Giel Edward, Kielce, Wiosenna 15
Jakóbkiewicz Czesław, Kielce, Źródłowa 15

ODDZIAŁ SZCZECIŃSKI

Dowbir Zbigniew Julian, Szczecin, Traugutta 2
Kwieciński Stefan, Maszewo, Leśna 2
Piekutowski Jerzy, Koszalin, Matejki 18
Rogoziński Edmund, Szczecin, Konopnickiej 11

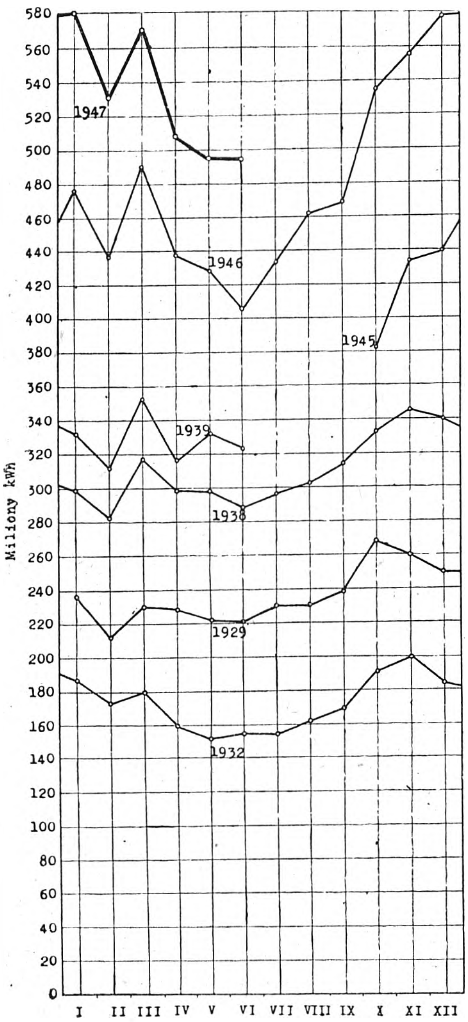
ODDZIAŁ WARSZAWSKI

Drobnicki Ryszard, Warszawa, Żymierskiego 107 m. 3
Girszyński Karol, Warszawa, Narbutta 26 m. 15
Grygołajtys Jan, Warszawa, Tucholska 39 m. 1
Kamiński Zdzisław, Warszawa, Złota 43 m. 51
Kluk Edward, Grodzisk Maz., Kilińskiego 30
Knysz Józef, Warszawa, Spalinowa 13 m. 3
Kornell Władysław, Warszawa, Al. Niepodległości 154 m. 20
Kruk Paweł, Warszawa, Stanisławowska 81 m. 15
Makowski Zbigniew, Warszawa, Czerwonego Krzyża 9 m. 8
Mania Henryk, Warszawa, Skaryszewska 10 m. 21
Osser Mieczysław, Warszawa, Al. Niepodległości 154
Wisłocki Albin Zygmunt, Warszawa, Miedziana 8 m. 3

CENTRALNY ZARZĄD ENERGETYKI

STATYSTYKA ELEKTRYCZNA

obejmująca elektrownie o mocy instalowanej ponad 1 000 kW



Rok 1947

Miesiące	Maj	Czerwiec	Stycz.-Czerw.
Razem I + II			
Wytwórczość (10^3 kWh)	494 640	493 702	3178736 (100%)
Liczba uwzględnionych zakładów	232	232	
Wzrost wytwórczości w stosunku do tego samego okresu w 1946 r. (%)	+ 15,5	+ 21,5	+ 18,8
Moc instal. 232 zakładów (10^3 kW)	2 218	2 237	
I. Elektrownie zawodowe			
Wytwórczość (10^3 kWh)	293 803	288 752	1 957 906 (61,6%)
Liczba uwzględnionych zakładów	97	97	
Wzrost wytwórczości w stosunku do tego samego okresu w 1946 r. (%)	+ 15,7	+ 19,6	+ 20,7
Moc instal. 97 zakładów (10^3 kW)	1 170	1 173	
II. Elektrownie niezawodowe			
Wytwórczość (10^3 kWh)	200 837	204 950	1 220 830 (38,4%)
Liczba uwzględnionych zakładów	135	135	
Wzrost wytwórczości w stosunku do tego samego okresu w 1946 r. (%	+ 15 3	+ 24,1	+ 15,9
Moc instal. 135 zakładów (10^3 kW)	1 048	1 064	
Podział wytwórczości:			
Kopalnie węgla (10^3 kWh)	105 849	109 810	665 794 (20,9%)
Huty „	19 121	17 060	112 306 (3,5%)
Fabryki chemiczne „	36 559	37 214	216 078 (6,8%)
Fabryki włókiennicze „	8 345	9 233	60 306 (1,9%)
Cukrownie „	227	651	5 423 (0,2%)
Papiernie „	14 439	14 809	78 350 (2,5%)
Cementownie „	12 254	12 385	54 254 (1,7%)
Pozostałe zakłady przemysłowe „	4 043	3 788	28 319 (0 9%)

Moc instalowana zakładu jest to suma znamionowych mocy (na zaciskach generatorów) w zespołach prądotwórczych zdolnych do ruchu.

Liczba pracowników w czerwcu 1947 r. w zakładach objętych statystyką

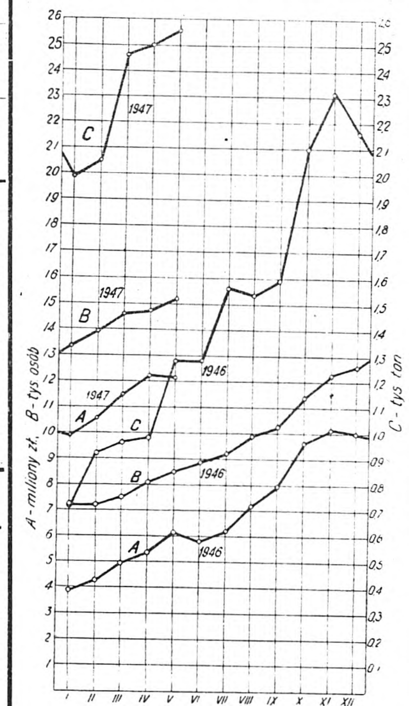
Miejsce zatrudnienia	Razem I i II			I. Elektrownie zawod.			II. Elektrownie niezaw.		
	Wytw.	Admin.	Razem	Wytw.	Admin.	Razem	Wytw.	Admin.	Razem
W elektrowni	15 061	5 562	20 623	9 917	5 241	15 158	5 144	321	5 465
Na sieci	4 862	2 392	7 254	3 681	2 301	5 982	1 181	91	1 272
Razem	19 923	7 954	27 877	13 598	7 542	21 140	6 325	412	6 73 7

CENTRALNY ZARZĄD PRZEMYSŁU ELEKTROTECHNICZNEGO

STATYSTYKA PRZEMYSŁU ELEKTROTECHNICZNEGO

Kwiecień - maj 1947 r. i porównanie pierwszych 5 miesięcy 1946 i 1947 r.

Zjednoczenie Przemysłu	Liczba zakładów prod.	Liczba zatrudnionych: przy produkcji: fizyczn.	przy produkcji: umysł.	przy produkcji: razem	przy odbud., inwest. i inn. nieprodukc.	uczniów	ogółem	Produkcja: waga w t	wartość produkcji w tys. zł wg cen 1937 r.	wartość produkcji w tys. zł wg cen 1947 r.
	Kwiecień									
Maszyn Elektrycznych	18	2677	773	3450	229	659	4338	231,1	2017,0	98873,3
Aparatów Elektrycznych	17	2789	948	3737	453	399	4589	178,4	1783,3	88657,5
Kabli i Przewodów	7	2924	594	3518	240	125	3883	1639,8	4783,4	183930,2
Ogniw i Akumulatorów	13	1143	281	1424	91	20	1535	389.3	1283,9	54368,2
Lamp Elektrycznych	2	714	124	838	19	—	857	22,5	1288,0	34416,2
Teletechnicznego	5	434	224	658	68	55	781	20,2	618,9	21017,1
Radiotechnicznego	8	735	332	1067	117	25	1209	20,9	438,9	23549,1
Razem	70	11416	3276	14692	1217	1283	17192	2502,2	12213,4	504811,6
	Maj									
Maszyn Elektrycznych	18	2826	821	3647	317	651	4615	243,6	2087,8	154888,3
Aparatów Elektrycznych	17	2856	1000	3866	413	391	4670	187,3	1887,7	93697,9
Kabli i Przewodów	7	2940	598	3538	226	120	3884	1626,4	4805,6	184395,6
Ogniw i Akumulatorów	13	1175	287	1462	73	20	1555	422,1	1189,2	37147,2
Lamp Elektrycznych	2	736	123	859	20	—	879	21,9	1144,0	26787,2
Teletechnicznego	5	511	215	726	73	59	858	28,2	605,9	22578,4
Radiotechnicznego	8	698	359	1057	135	25	1217	18,7	368,8	22639,4
Razem	70	11752	3403	15155	1257	1266	17678	2548,1	12089,0	542134,0
	Procentowy wzrost w okresie styczeń-maj 1947 r. w stosunku do okresu styczeń-maj 1946 r.									
	średniej miesięcznej liczby							sumy za 5 miesięcy		
Maszyn Elektrycznych	32%	66%	101%	74%	477%	58%	74%	121%	113%	437%
Aparatów Elektrycznych	4 ,,	83 ,,	106 ,,	83 ,,	40 ,,	116 ,,	84 ,,	104 ,,	91 ,,	414 ,,
Kabli i Przewodów	0 ,,	103 ,,	96 ,,	101 ,,	92 ,,	130 ,,	10 ,,	158 ,,	183 ,,	446 ,,
Ogniw i Akumulatorów	13 ,,	48 ,,	89 ,,	54 ,,	82 ,,	143 ,,	55 ,,	84 ,,	105 ,,	255 ,,
Lamp Elektrycznych	0 ,,	45 ,,	48 ,,	45 ,,	463 ,,	0 ,,	45 ,,	31 ,,	61 ,,	235 ,,
Teletechnicznego	25 ,,	126 ,,	287 ,,	162 ,,	96 ,,	66 ,,	147 ,,	145 ,,	210 ,,	388 ,,
Ra diotechnicznego	3 ,,	171 ,,	226 ,,	186 ,,	31 ,,	45 ,,	107 ,,	117 ,,	145 ,,	515 ,,
Razem	14%	81%	114%	85%	65%	113%	84%	138%	129%	397%



Uwaga 1.

Wykresy powyższe oznaczają łącznie dla wszystkich przemysłów:

A wartość produkcji w mln. zł według cen z 1937 r.

B liczbę zatrudnionych w produkcji (fizyczn. i umysł.) tzn. bez zatrudnionych przy odbudowie i inwestycjach, bez innych nieprodukcyjnych i bez uczniów.

C wagę produkcji w tys. ton.

Uwaga 2.

Podane w tablicy wagi dla żarówek i lamp obejmują następujące ilości tych przedmiotów:

kwiecień	947,7 tys. szt.,
maj	859,4 ,, ,,

Przy ustaleniu liczby żarówek przyjęto, że 3 żarówki karzełkowe = 1 żarówka normalna.

Komisja Wydawnicza Stowarzyszenia Elektryków Polskich

Komisja Wydawnicza ukonstytuowała się w składzie następującym: przewodniczący B. Konorski, członkowie: W. Iwaszkiewicz, E. Kenig, W. Kotelewski, St. Konczykowski, J. Pląskowski, R. Podoski, L. Temerson, B. Witwiński.

Do zadań Komisji Wydawniczej należy: 1) opiniowanie projektowanych wydawnictw z dziedziny elektrotechniki oraz badanie celowości i możliwości ich wydania; 2) opracowanie programu i planu wydawnictw elektrotechnicznych, które obejmą zarówno prace monograficzne, jak i podręczniki na poziomie akademickim i inżynierskim.

Komisja Wydawnicza SEP stanowi odnośną komórkę Komisji Wydawniczej NOT.

Komisja prosi wszystkich elektryków, posiadających rękopisy gotowych prac, o przesłanie ich do Sekretariatu Generalnego Stowarzyszenia Elektryków Polskich (Warszawa, Przemysłowa 26).

Ze względu na pożądaną koordynację prac wydawniczych Komisja zwraca się do autorów lub instytucji oraz księgarni wydawniczych, projektujących wydanie drukiem prac elektrotechnicznych, o komunikowanie swoich planów Komisji Wydawniczej SEP.

NORMALIZACJA ELEKTROTECHNICZNA

Tablice ostrzegawcze w urządzeniach elektrycznych

Objaśnienia do nowelizacji „Wskazówek stosowania tablic ostrzegawczych w urządzeniach elektrycznych i ich wzorów" (PNE-39 z 1933 r.)

W związku z podjętym przez SEP nowym wydaniem przepisów PNE-39 z 1933 r. wynikła konieczność ich nowelizacji. XXII Komisja Bezpieczeństwa Pracy w składzie: St. Bladowski (przewodn. i referent), T. Zarański i Wł. Obtułowicz poza nową pisownią i poprawkami językowymi wprowadziła do nowego tekstu przepisów trzy zasadnicze zmiany.



Rys. 1

1. Wprowadzono dwojaki sposób oznaczania tablic, uwzględniający różny stopień niebezpieczeństwa.

Trupia główka z czerwoną strzałką obok napisu (rys. 1) stosowana jest tam, gdzie istnieje specjalnie wzmożone niebezpieczeństwo porażenia elektrycznego lub uszkodzenia ciała, a mianowicie w urządzeniach wysokiego napięcia oraz tych pomieszczeniach niskiego napięcia, w których na skutek panujących warunków istnieje zwiększone niebezpieczeństwo porażenia lub uszkodzenia ciała, np. w pomieszczeniach wilgotnych, gorących, przy pracy na wysokości, kiedy dotknięcie urządzenia elektrycznego niskiego napięcia może nie powodować porażenia elektrycznego, ale może być przyczyną upadku z wysokości.

Strzałka czerwona obok napisu (rys. 2) stosowana jest do tablic ostrzegawczych, umieszczanych w urządzeniach elektrycznych niskiego napięcia z wyjątkiem przypadków podanych wyżej.

2. Skasowano dawną tablicę wzór 7 z napisem „W razie pożaru unikać gaszenia wodą", jako obecnie nieaktualną.

Szereg doświadczeń wykonanych zagranicą i opublikowanych zarówno w prasie krajowej, jak i zagranicznej wykazał, że polewanie wodą urządzeń nawet wysokiego napięcia, znajdujących się pod napięciem, nie grozi niebezpieczeństwem porażenia, zwłaszcza jeżeli strumień wody jest rozpylony i nie pada krótką pełną strugą na części, znajdujące się pod wysokim napięciem. W praktyce izolatory linii napowietrznych wysokiego napięcia obmywa się pod napięciem strumieniem wody z sikawki.

Publikacje, w których powyższe zagadnienie zostało w wyczerpujący sposób opisane:

„Gaszenie pożaru w zakładach elektrycznych wodą" — ETZ, 1928, Nr 33 oraz notatka w PE, 1930, str. 13.

„O polewaniu wodą urządzeń elektrycznych pod napięciem przy gaszeniu pożarów" — notatka w PE, 1935, str. 323, na podstawie artykułów: J. Wahling — Elektrizitätswirtschaft 1928, str. 451; Y. Moigne, Ch. Roussel — Revue Générale d'Électricité, 1934, str. 303.

„Abspritzen von Hochspannungsisolatoren im Betriebe", Esterhoff, VDI-Zeitschrift, 1940, str. 817; Esterhoff-Weber, ETZ, 1940, str. 817; Meissner, VDI-Zeitschrift, 1940, str. 1025; Meissner, VDI-Zeitschrift, 1941, str. 248:

W związku z powyższym będą musiały ulec również nowelizacji przepisy PNE-26, zawierające „Wskazówki gaszenia pożarów w urządzeniach elektrycznych".

3. Skasowano dawną tablicę wzór 8 z napisem „Baczność! Wewnątrz wysokie napięcie". Ostrzeżenie, że wewnątrz skrzyni pod pokrywą znajdują się przewody wysokiego napięcia, jest niepotrzebne, gdyż przy pracy w urządzeniach wysokiego napięcia należy stosować wszelkie środki ostrożności nawet wówczas, gdy urządzenia te są wyłączone, dostęp zaś do nich dla osób niepowołanych powinien być wykluczony w sposób inny, niż przez stosowanie tablic ostrzegawczych.



Rys. 2

St. Bladowski

Kable obołowione prądu silnego

Objaśnienia do nowelizacji przepisów PNE-6 z 1937 r. *)

Projekt nowelizacji opracowała IV Komisja Przewodów i Kabli w składzie: St. Bladowski (przewodn. i referent), J. Bużek, Z. Geschwind, K. Kolbiński, E. Matula, J. Skowroński, A. Walewski, F. Włodek. Projekt zawiera przede wszystkim rozszerzenie przepisów na kable z żyłami aluminiowymi. Obok pewnych różnic w budowie żyły aluminiowej i miedzianej kable alumniowe posiadają w zasadzie budowę (grubości izolacji, płaszcza ołowianego i pancerzy) analogiczną do budowy kabli miedzianych. Ponieważ w przyszłości może zajść konieczność wykonywania i stosowania kabli aluminiowych prądu silnego, Komisja uznała za celowe uzupełnić w tym kierunku dawne przepisy PNE-6.

Poza drobnymi poprawkami językowymi projekt nowelizacji wprowadza do nowego tekstu przepisów szereg niżej objaśnionych zmian.

Ustalenie przewodności właściwej drutów, żył i kabli. Zgodnie z przepisami PNE-5 przyjęto przewodność właściwą prostego drutu miedzianego wykonanego z miedzi przewodowej równą $57 \frac{\text{m (drutu)}}{\Omega . \text{mm}^2}$ (nie 57,5, jak było w dawnych przepisach PNE-6). Przewodność

*) Projekt tekstu znowelizowanego nie podlega ogłoszeniu w PE w całości. Dla umożliwienia zainteresowanym zapoznania się z projektem rozesłano go z prośbą o uwagi do wszystkich oddziałów SEPu, do ministerstwa komunikacji, do wszystkich centralnych zarządów ministerstwa przemysłu i wszystkich zjednoczeń energetycznych, do zjednoczenia przemysłu kablowego i fabryk kabli w Krakowie i Bydgoszczy.
Termin nadsyłania uwag pod adresem Stowarzyszenia Elektryków Polskich (Warszawa, Przemysłowa 26) upływa 15 września 1947 r.

właściwa wyprostowanej żyły miedzianej, skręconej z drutów, wyniesie $56 \frac{\text{m (żyły)}}{\Omega \cdot \text{mm}^2}$. Przewodność właściwa tej samej żyły miedzianej, ale skręconej w kablu, będzie jeszcze o 2% mniejsza, czyli około $54{,}88 \frac{\text{m (kabla)}}{\Omega \cdot \text{mm}^2}$. Analogiczne wartości dla aluminium będą:

$$34{,}5 \frac{\text{m (drutu)}}{\Omega \cdot \text{mm}^2};\ 34{,}0 \frac{\text{m (żyły)}}{\Omega \cdot \text{mm}^2} \text{ oraz } 33{,}36 \frac{\text{m (kabla)}}{\Omega \cdot \text{mm}^2}.$$

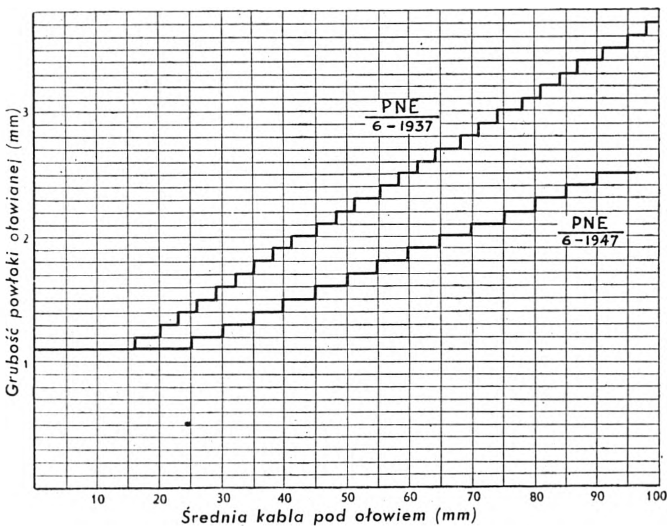
Mniejsza wartość przewodności właściwej miedzi względnie aluminium przy skręcie w żyłę oraz żył w kabel tłumaczy się większą długością drutu, przypadającą na 1 m. b. żyły lub kabla. Ponieważ prąd elektryczny przechodzi w linkach, skręconych z wielu drutów, spiralnie wzdłuż drutu, a nie prostopadle do przekroju żyły względnie kabla, oporność żyły wzrośnie, czyli tym samym przewodność właściwa obliczeniowa zmaleje.

L i c z b a d r u t ó w w ż y ł a c h. Liczby drutów w żyłach kabli aluminiowych są mniejsze, niż w żyłach kabli miedzianych ze względu na większą miękkość aluminium oraz trudności przy spawaniu cienkich drutów aluminiowych.

K s z t a ł t ż y ł k a b l i. Zasadniczo obowiązuje w kablach wielożyłowych kształt żyły sektorowy, jako normalny — żyły okrągłe dopuszczalne są jedynie dla przekrojów poniżej 16 mm², dla kabli wysokiego napięcia powyżej 10 kV, oraz dla kabli jednożyłowych.

G r u b o ś ć i z o l a c j i. Grubości izolacji kabli, zarówno miedzianych jak i aluminiowych, pozostały bez zmiany.

G r u b o ś ć p o w ł o k i o ł o w i a n e j. Grubość płaszcza ołowianego (rys. 1) zmniejszono ze względu na konieczność oszczędzania ołowiu do wartości podanych przez przepisy niemieckie VDE 260-U z roku 1937 z tym wyjątkiem, że najmniejszą grubość płaszcza ołowianego podniesiono do 1,1 mm. Grubości te, stosowane w ostatnich 10 latach w Niemczech, a także i u nas w czasie okupacji (dla kabli aluminiowych przepisy VDE dopuszczały nawet jeszcze mniejsze grubości ołowiu), nie wykazały żadnych trudności w wykonaniu ani też uszkodzeń w ruchu.



Rys. 1. Grubość płaszcza ołowianego w kablach.

G r u b o ś ć p a n c e r z a. Grubości pancerza z bednarki uległy zmniejszeniu, jak podaje następujące zestawienie:

	dla kabli o średn. zewnętrznej powłoki ołowianej		
	do 35 mm	od 35 do 58 mm	powyż. 58 mm
dawniej . .	0,5 mm	0,8 mm	1,0 mm
obecnie . .	0,5 mm	0,5 mm	0,8 mm

Jednocześnie dopuszczono stosowanie w miejsce obwoju z juty pod pancerzem kilku warstw papieru nasyconego, powleczonych asfaltem, na zewnątrz zaś — obwoju ze sznurków papierowych, powleczonego asfaltem.

Grubości drutów płaskich i okrągłych pancerza nie uległy zmianom.

P r ó b y k a b l i zostały niezmienione.

T a b l i c e o b c i ą ż e ń kabli miedzianych pozostały bez zmiany — uzupełniono przepisy tablicami obciążalności kabli aluminiowych.

B u d o w a k a b l i w i z o l a c j i g u m o w e j nie uległa zmianie — nie przewiduje się stosowania żył aluminiowych, lecz miedziane ocynowane.

W próbach ocynowania żył miedzianych dotychczasową metodę badania szczelności ocynowania wielosiarczkiem sodowym zastąpiono metodą kolorymetryczną badania ocynowania wg. Schürmanna-Blumenthala, przyjętą przez przepisy międzynarodowe, a w szczególności przez C. E. E. (dawniej I. F. K.).

W ogólnych i szczegółowych postanowieniach obecny projekt nowelizacji przepisów PNE-6 — z małymi wyjątkami (próby stratności dielektrycznej) — nie różni się od najnowszych norm czechosłowackich „Silové kabely" wydanych w 1947 r.

Niezależnie od projektu nowelizacji przepisów PNE-6, IV Komisja składa dodatkowo wniosek, aby na okres przejściowy dopuścić pewną ulgę w wielkości przepisanej przewodności właściwej żył miedzianych, — a to ze względu na umożliwienie stosowania przetopów miedzi elektrolitycznej ze złomu, który znajduje się w kraju i musi być jak najdalej wykorzystany (ogólne trudności w zakupie miedzi na rynkach zagranicznych i konieczność oszczędzania dewiz). IV Komisja proponuje:

„Ze względu na niższą przewodność właściwą miedzi stosowanej obecnie do wyrobu żył kabli prądu silnego dopuszcza się przejściowo, aż do odwołania, mniejszy przekrój czynny żył o 8%, w stosunku do przekroju nominalnego."

Powyższa ulga w postaci dodatkowej uwagi na oddzielnej kartce, wlepionej do przepisów, będzie mogła mieć zastosowanie wyłącznie dla dostaw krajowych; przy dostawach eksportowych obowiązuje pełny tekst przepisów PNE-6.

St. Bladowski

Norma na transformatory

Objaśnienia do projektu I PNE-201*)

II Komisja Maszyn Elektrycznych SEP przedstawia do zaopiniowania ogółowi elektryków polskich projekt I normy na transformatory trójfazowe o mocy od 20 do 1600 kVA i do 30 kV (PNE-201).

Projekt normy jest pierwszym krokiem na polu normalizacji wytwórczej wszystkich fabryk krajowych. Opracowano go pod kątem widzenia obecnych i przyszłych potrzeb energetyki oraz możliwości polskiego przemysłu elektromaszynowego. Należy podkreślić, że nie jest on kompilacją ani naśladownictwem wzorów zagranicznych, lecz wyrasta konsekwentnie z naszych dzisiejszych zadań, potrzeb i możliwości.

Komisja przy opracowywaniu projektu kierowała się następującymi wytycznymi: 1) długoseryjna produkcja ogólnokrajowa typów znormalizowanych, dająca niską kalkulację; 2) krótkie terminy dostawy; 3) zwiększona wydajność produkcji.

Założenia powyższe nie wykluczają indywidualnej produkcji transformatorów nie objętych normą, którą to produkcję należy wtedy traktować jako wykorzystanie luzów w planach produkcyjnych.

Norma opiera się na napięciach znormalizowanych według PNE-18 i PNE-33. *Dok. na str. 253*

*) Termin zgłaszania uwag pod adresem Stow. Elektr. Pol. (Warszawa, Przemysłowa 26) upływa 15 września 1947 r.

Transformatory trójfazowe

olejowe o chłodzeniu naturalnym i uzwojeniu miedzianym od 20 do 1600 kVA, do 30kV, na 50 okr./s

PNE 201-1947
Projekt I

Moc znamionowa (kVA)	**20**, **30**, **50**, (75), **100**, (125), **160**, (200), **250**, (320), **400**, (500), **640**, (800), **1000**, (1250), **1600**.
Napięcie znamionowe górne (kV)	**3**, **6**, (10), **15**, (20), **30**.
Zaczepy	± 5% po stronie górnego napięcia, przełączalne z zewnątrz w stanie beznapięciowym

Napięcie znamionowe dolne w stanie jałowym (V)

Moc znamionowa (kVA)	Napięcie znamionowe (V)				
do 200 kVA	231	400	525		
od 250 do 500 kVA	231	400	525	3150[1])	6300[1])
od 640 do 1600 kVA		400	525	3150	6300

[1]) Dla tych transformatorów straty jałowe i obciążeniowe są większe o 10% od wartości niżej podanych.

Układ połączeń

Yy0 dozwolone obciążenie punktu zerowego do 10% prądu znamionowego
Yz5[1]), Dy5 dozwolone obciążenie punktu zerowego do 100% prądu znamionowego

[1]) Układ Yz5 stosuje się tylko do mocy 250 kVA.

Prąd znamionowy

Oblicza się dla strony górnego i dolnego napięcia, dzieląc moc znamionową przez odpowiednie napięcie znamionowe i przez $\sqrt{3}$.

Straty i napięcie zwarcia

Moc znam. kVA	Straty jałowe (W)						Straty obciążeniowe				Napięcie zwarcia U_z%	
	do 10 kV		powyżej 10kV do 20kV		30 kV		do 20 kV		30 kV			
	normal.	zniżone	normal.	zniżone	normal.	zniżone	W	%	W	%	do 20kV	30kV
20	190	150	225	180			590	2,95				
30	260	205	300	240			825	2,75				
50	375	300	425	340	500	400	1300	2,60	1450	2,9		
(75)	510	410	575	460	650	520	1800	2,40	1980	2,65		
100	630	510	700	570	800	640	2200	2,20	2400	2,4		
(125)	760	610	840	670	950	760	2620	2,10	2810	2,25		
160	920	735	1000	810	1100	900	3200	2.00	3440	2.15		
(200)	1070	870	1170	950	1300	1050	3800	1,90	4100	2,05		
250	1270	1040	1400	1120	1500	1200	4630	1,85	4870	1,95	4,5	6
(320)	1550	1240	1670	1350	1750	1400	5600	1,75	5920	1,85		
400	1850	1470	1970	1600	2100	1700	6600	1,65	7000	1,75		
(500)	2150	1700	2300	1900	2500	2000	8000	1,60	8250	1,65		
640	2600	2100	2800	2250	2900	2350	9600	1,50	9900	1,55		
(800)	3100	2500	3300	2650	3400	2750	11500	1,44	11750	1,47		
1000	3650	2900	3900	3150	4100	3300	13600	1,36	14000	1,40		
(1250)	4300	3500	4600	3700	4800	3900	16250	1,30	16850	1,35		
1600	5200	4150	5500	4400	5700	4600	19500	1,22	20300	1,27		

1. Straty jałowe normalne gwarantowane są przy użyciu normalnej blachy transformatorowej o grubości 0,35 mm i stratności 1,3 W/kg przy 10 000 gausów. Straty jałowe zniżone gwarantowane są przy użyciu blachy 0,35 mm o stratności zniżonej do 1,1 W/kg dla 10 000 gausów.
2. Przy prądach ponad 600A do 1200A straty obciążeniowe zwiększają się o 5%.
3. „ „ „ 1200A „ 2400A „ „ „ „ o 10%.
4. Straty obciążeniowe oraz napięcie zwarcia podane są przy temperaturze uzwojeń 75°.
5. Dopuszczalne granice odchyleń dla strat i napięcia zwarcia wg PNE-33.

Przeciążalność

Po 10 godzinach pracy przy obciążeniu 50% mocy znamionowej:
w ciągu 1 godz. — 30% ponad moc znamionową
„ „ 3 „ — 10% „ „ „

Przepusty

PNE-203

Wyposażenie	Zawór spustowy mały PNE-204 do mocy 100 kVA Zawór spustowy duży PNE-205 do mocy większych Rurka na termometr PNE-207 Olejowskaz PNE-206 Wstawka wymienna (w miejsce przekaźnika gazowego syst. Buchholza) dla transformatorów o mocy od 250 kVA w zwyż Kółka do przełaczania PNE-208 Rozstawienie osi PNE-209
Wymiary zewnętrzne	PNE-202
Tolerancje oraz inne warunki	PNE-33
Oznaczenie (skrót)	Przykład oznaczenia: **Transformator olejowy 100 kVA 15/0,4 Yz5 napow. wg PNE-201**

Uwaga. Zaleca się stosować moce i napięcia górne podane grubym drukiem jako uprzywilejowane.

Szereg mocy znamionowych zmodyfikowano w stosunku do zwyczajowych serii firm europejskich: rozpoczyna się on dopiero od 20 kVA; spośród 17 stopni znamionowych przewiduje się tylko 10 stopni mocy zalecanych. W ten sposób znacznie ułatwia się produkcję przez stosowanie dłuższych serii i mniejszej liczby typów, a energetyka zyskuje uproszczenie gospodarki sprzętem transformatorowym i aparaturowym bez wyczuwalnego przeinwestowywania mocy zainstalowanej.

Z układów połączeń przyjęto do normy tylko trzy: Yyo, Yz5 i Dy5.

Straty jałowe i obciążeniowe, mimo obecnych poważnych trudności surowcowych, utrzymano na poziomie gospodarczo uzasadnionym i przyjęto obowiązek nieprzekraczania ich przez producenta przy uwzględnieniu tolerancji według PNE-33. W normie wzięto pod uwagę blachę krajową o grubości 0,35 mm i stratności 1,3 W/kg jako najlepszą istniejącą w chwili obecnej na rynku. Licząc się jednak z możliwością podwyższenia gatunku blachy krajowej, wprowadzono do normy straty jałowe dwu rodzajów: „normalne" i „zniżone".

Po wyczerpującej dyskusji i głębokim namyśle przyjęto dla całej serii jednolite napięcie zwarcia: 4,5% do 20 kV i 6% dla 30 kV. Takie rozwiązanie poza swą prostotą jest bardziej korzystne niż drobne stopniowanie i to zarówno z punktu widzenia ruchowego (praca równoległa, spadki napięć, prądy zwarcia) jak i konstrukcyjnego (obliczenia, zużycie materiałów czynnych).

Wszelkie nie wymienione w normie warunki techniczne obowiązują według PNE-33.

Program dalszych prac II Komisji przewiduje opracowanie wszystkich wymienionych w PNE-201 norm na wyposażenie transformatorów, a następnie norm na transformatory większych mocy.

W opracowaniu projektu normy PNE-201 brali udział: W. Fischer, Z. Gogolewski (przewodn.), Z. Hasterman, E. Jezierski, Z. Kratochwil, Z. Kopczyński, T. Sacharuk.

Z. Gogolewski

Uwagi do poniższego projektu należy nadsyłać pod adresem Stowarzyszenia Elektryków Polskich (Warszawa, ul. Przemysłowa 26) w terminie do dnia 30 września 1947 r.

Projekt opracowała XXIII Komisja Linii Podziemnych S. E. P. w składzie: B. Hac (przewodn.), T. Monkiewicz (refer.), E. Okrasa, W. Szewell.

Projekt I

POLSKIE NORMY ELEKTROTECHNICZNE

LINIE KABLOWE PODZIEMNE PRĄDU SILNEGO*)

I. WSTĘP

§ 1. Zakres zastosowania.

Przepisy niniejsze obejmują budowę linii kablowych prądu silnego na napięcie nominalne do 35 kV.

§ 2. Termin ważności.

Przepisy niniejsze obowiązują od dnia . . . . Skrzyżowania i zbliżenia linii kablowych, wykonane przed dniem . . . . zgodnie z przepisami dotychczasowymi, nie wymagają dostosowania do przepisów niniejszych.

§ 3. Określenia.

1. Skrzyżowanie zachodzi ilekroć jakakolwiek część rzutu poziomego kabla przecina jakąkolwiek część rzutu poziomego innego kabla lub innego urządzenia podziemnego przebiegającego nad lub pod kablem, a odległość pionowa między krzyżującymi się urządzeniami jest mniejsza niż 100 cm, albo ilekroć jakakolwiek część rzutu poziomego kabla przecina lub pokrywa jakąkolwiek część rzutu poziomego drogi komunikacyjnej (toru kolejowego, drogi, wody żeglownej lub spławnej itp.).

*) Wszelkie prawa przedruku zastrzeżone przez Stowarzyszenie Elektryków Polskich.

2. Zbliżenie zachodzi ilekroć odległość pozioma linii kablowej od innej linii kablowej, od urządzeń podziemnych, szyny kolejowej, wody, skrajni drogi, budynku itp. jest mniejsza niż 300 cm i nie zachodzi przy tym skrzyżowanie.

3. Odległość między dwoma przedmiotami (np. kabla od innego kabla, od rurociągu itp.) jest to w rozumieniu przepisów niniejszych odległość między dwoma najbliżej siebie położonymi punktami tych przedmiotów (czyli odległość najkrótsza w świetle).

Odległość pozioma jest to odległość (najkrótsza w świetle) między rzutami poziomymi przedmiotów.

Odległość pionowa jest to odległość (najkrótsza w świetle) mierzona w kierunku pinowym.

4. Napięcie liniowe jest to napięcie nominalne między żyłami linii kablowej. Napięcia liniowe znormalizowane są podane w PNE—18.

5. Linie kolejowe w rozumieniu niniejszych przepisów są to wszelkie linie kolejowe zarówno użytku publicznego, jak i użytku prywatnego, normalne czy wąskotorowe, jedno czy wielotorowe, dojazdowe, tramwajowe, bocznice itp.

6. Drogi w rozumieniu niniejszych przepisów są to państwowe, wojewódzkie i gminne drogi publiczne wg Ustawy z dnia 10 grudnia 1920 r. o budowie i utrzymaniu dróg publicznych (Dz. U. R. P. Nr 6 poz. 32 z 1921 r.) oraz wszelkie równorzędne prywatne drogi o dużym ruchu kołowym (np. drogi fabryczne, folwarczne itp.) jak również dojazdy do tych dróg o dużym ruchu kołowym (np. dojazdy ze składów, fabryk, warsztatów itp.).

7. Wody publiczne są to wody żeglowne, uznane za takie zgodnie z art. 261 Ustawy Wodnej z dnia 19 września 1922 r. (Dz. U. R. P. Nr 62 poz. 574 z 1928 r.) i wody spławne uznane za takie zgodnie z art. 1 Rozporządzenia Prezydenta Rzeczypospolitej z dnia 9 listopada 1927 r. o regulacji i utrzymaniu wód spławnych (Dz. U. R. P. Nr 102 poz. 882).

8. Przykrycie jest to warstwa z materiału niepalnego, ułożona nad linią kablową i chroniąca kabel od góry przed uszkodzeniami mechanicznymi. Warstwa ta składa się z nieprzerwanego ciągu cegieł, płyt betonowych lub przykryw nie mniejszej wytrzymałości od warstwy cegieł.

9. Przegroda jest to warstwa z materiału niepalnego, ułożona obok kabla w celu oddzielenia go od sąsiedniego kabla lub innych urządzeń podziemnych, ułożonych w tej samej płaszczyźnie poziomej. Warstwa ta składa się z nieprzerwanego ciągu cegieł, płyt betonowych lub przegród równowartościowych. Wysokość warstwy powinna wynosić co najmniej 1,5 średnicy grubszego z przegradzanych kabli.

10. Osłona otaczająca jest to niedzielona lub dzielona rura z betonu, kamionki, żeliwa, stali itp. materiału niepalnego, lub kanał betonowy albo murowany o wytrzymałości nie mniejszej od wytrzymałości rur betonowych przepisanej w PN/B—309. Osłona otaczająca zabezpiecza kabel ze wszystkich stron przed uszkodzeniem i łączy w sobie właściwości przykrycia i przegrody.

11. Kanał kablowy jest to nieprzerwane pasmo niedzielonych rur betonowych, kamionkowych lub tp. i zaopatrzonych we włazy i studzienki do wciągania i wyciągania kabla.

12. Różne linie kablowe w rozumieniu przepisów niniejszych są to linie o różnych napięciach liniowych, albo o różnym rodzaju prądu lub różnym przeznaczeniu (np. linie energetyczne czyli prądu silnego i telekomunikacyjne, czyli prądu słabego, linie prądu zmiennego i linie prądu stałego, linie o różnej częstotliwości prądu itp.).

II. WYMAGANIA OGÓLNE PRZY UKŁADANIU KABLI

§ 4. Postanowienia ogólne.

1. Wszystkie kable używane do budowy linii kablowych muszą odpowiadać wymaganiom stawianym przez „Przepisy na kable ołowione prądu silnego" (PNE—6).

2. Przy temperaturach poniżej 0° kabel wolno układać tylko w stanie dostatecznie podgrzanym.

Przy temperaturach poniżej — 10° należy unikać układania kabli.

3. Kabel na całej długości powinien być zaopatrzony w oznaczenia, rozmieszczone w odstępach co 10 m oraz przy mufach.

Oznaczenie kabla wykonywa się w postaci pasków z ołowiu lub innego odpowiedniego materiału i zakłada się je na kablu. Oznaczenie powinno zawierać numer kabla, napięcie, przekrój, biegunowość (jeżeli kabel jest jednożyłowy), znak właściciela i ewentualne inne dodatkowe dane.

4. Promień zgięcia kabla nie może być mniejszy od 15-krotnej zewnętrznej średnicy kabla.

5. Kable jednożyłowe w układzie trójfazowym powinny być tak rozmieszczone, aby straty w płaszczach metalowych były możliwie małe.

6. Przy układaniu kabli jednożyłowych należy unikać tworzenia się dokoła kabli zamkniętych obwodów magnetycznch, np. przez rury, klamry i inne metalowe części konstrukcji.

7. Ołowiany płaszcz kabla powinien być uziemiony[1]).

§ 5. Układanie kabli w ziemi.

1. Głębokość ułożenia kabla w ziemi, liczona od powierzchni ziemi do płaszcza kabla, ma wynosić:

a) dla kabli o napięciu liniowym do 10 kV co najmniej 30 cm,

b) dla kabli o napięciu liniowym powyżej 10 do 35 kV — co najmniej 100 cm.

2. Kable układane bezpośrednio w ziemi muszą być podsypane z dołu i przysypane z góry warstwą piasku o grubości co najmniej 10 cm, albo jeżeli są trudności w jego otrzymaniu, warstwą przesianej ziemi, nie zawierającą domieszek szkodliwych dla kabla.

Kable muszą być ponadto zabezpieczone na całej długości przykryciem i przysypane ziemią, ubijaną warstwami.

3. Odległość między równolegle ułożonymi kablami ma wynosić co najmniej:

a) między kablami o napięciu liniowym do 10 kV — 10 cm,

b) między kablami o napięciu liniowym powyżej 10 do 35 kV — 25 cm,

c) między kablami różnych linii kablowych lub należącymi do różnych zakładów — 50 cm.

Powyższe odległości mogą być zmniejszone, o ile zostanie zastosowana przegroda.

4. Na ulicach i placach kable powinny być układane pod chodnikami w odległości od budynków co najmniej 50 cm.

§ 6. Układanie kabli na mostach.

1. Kable powinny być tak ułożone lub zawieszone, ażeby skutki oddziaływania wstrząsów były jak najmniejsze.

[1]) Przepisy na uziemienia są w opracowaniu.

2. Ze względu na wydłużalność stalowych konstrukcji mostowych przy zmianach temperatury kabel przymocowany do tej konstrukcji powinien posiadać rezerwę w długości.

3. W celu uniknięcia ewentualnego pożaru od iskier parostatków kable nieosłonięte (§ 3 p. 10 i 11) powinny być ułożone bez zewnętrznej odzieży włóknistej.

4. W miejscach dostępnych dla wykonywania konserwacyjnych robót mostowych kable powinny być zabezpieczone przed ewentualnymi uszkodzeniami mechanicznymi przez zastosowanie odpowiednich osłon.

5. Zaleca się takie ułożenie kabli, aby przy konserwacji możliwe były ich oględziny i ewentualne naprawy na całej długości bez wykonania dodatkowych konstrukcji.

6. Układanie kabli na mostach powinno być uzgodnione z właściwymi władzami mostowymi.

§ 7. Układanie kabli w budynkach i kanałach.

1. W pomieszczeniach, w których nie grożą szkodliwe wpływy chemiczne, kable należy układać ze względów bezpieczeństwa pożarowego bez zewnętrznej odzieży włóknistej, opancerzenie zaś kabla należy zabezpieczyć od korozji przez pokrycie lakierem rdzochronnym.

2. Odstęp między miejscami zamocowania kabla na ścianach lub sufitach powinien wynosić nie więcej niż 100 cm przy poziomym zawieszeniu i nie więcej niż 200 cm przy pionowym zawieszeniu kabla.

3. Tunele kablowe powinny być odpowiednio przewietrzane i budowane w taki sposób, aby woda gruntowa i ściekowa miała zapewniony odpływ.

4. Przejście kabla przez ściany lub stropy należy wykonywać w osłonie otaczającej.

III. SKRZYŻOWANIA I ZBLIŻENIA LINII KABLOWYCH MIĘDZY SOBĄ I Z INNYMI URZĄDZENIAMI

§ 8. Skrzyżowania.

1. Linia wyższego napięcia powinna być zakopana głębiej, niż linia niższego napięcia, a linia energetyczna (silnoprądowa) głębiej, niż linia telekomunikacyjna (słaboprądowa).

Odległość między krzyżującymi się kablami silnoprądowymi powinna wynosić co najmniej 50 cm, gdy choć jeden z krzyżujących się kabli jest wysokiego napięcia, oraz co najmniej 25 cm, gdy żaden z krzyżujących się kabli nie jest kablem wysokiego napięcia.

Jeżeli wszystkie krzyżujące się kable są zaopatrzone na skrzyżowaniu w osłony otaczające o długości po 50 cm w obie strony od miejsca skrzyżowania, albo jeżeli kable choć jednej z krzyżujących się linii ułożone są w kanale kablowym (a przez to osłonięte w sposób trwały), to odległości mogą być dowolne.

2. Każda z krzyżujących się linii kablowych wysokiego napięcia musi być zaopatrzona zamiast w przykrycie (§ 5 p. 2) w osłonę otaczającą po 50 cm po obu stronach skrzyżowania.

W taką samą osłonę muszą być zaopatrzone krzyżujące się linie różnych zakładów elektrycznych.

3. Przy skrzyżowaniu linii kablowej energetycznej z linią kablową telekomunikacyjną, lub rurociągami podziemnymi (oprócz rurociągu cieplnego) odległość ma wynosić co najmniej 50 cm. Ponadto kabel telekomunikacyjny na długości przynajmniej po 100 cm po obu stronach skrzyżowania musi być zabezpieczony od uszkodzeń mechanicznych przez ułożenie nad nim jednolitego przykrycia.

4. Przy skrzyżowaniu kabli z rurociągiem cieplnym na rurociąg musi być nałożona dodatkowa izolacja cieplna po 200 cm w obie strony od skrajnych kabli. Izolacja cieplna powinna być tak wykonana, aby przyrost temperatury gruntu przy kablu spowodowany sąsiedztwem rurociągu cieplnego nie przekraczał 5^0.

§. 9. Zbliżenia.

1. Przy zbliżeniu dwóch linii kablowych odległość pozioma między kablem jednej linii a kablem drugiej linii powinna wynosić co najmniej 50 cm.

Powyższa odległość pozioma może być zmniejszona do 25 cm pod warunkiem zastosowania przegrody na całej długości zbliżenia.

2. Różne linie kablowe muszą być od siebie oddzielone przegrodą; jeżeli ponadto należą do różnych zakładów elektrycznych, to na całej długości zbliżenia powinny posiadać oznaczenia w odstępach co najmniej 5 m.

Przegród można nie stosować:

a) gdy zbliżające się linie są liniami telekomunikacyjnymi lub niskiego napięcia, a odległość pionowa przekracza 25 cm,

b) gdy jedna z linii jest linią wysokiego napięcia, a odległość pionowa przekracza 50 cm,

c) gdy przynajmniej jedna z linii kablowych jest ułożona w osłonie otaczającej lub kanale kablowym.

3. Przy zbliżeniu linii kablowej do innych urządzeń podziemnych (rurociągi gazowe, wodociągi itp.) odległość pozioma powinna wynosić co najmniej 50 cm, a przy zbliżeniu do rurociągu cieplnego co najmniej 200 cm. W przypadku, gdy powyższa odległość od rurociągu cieplnego nie może być zachowana, rurociąg cieplny należy tak izolować, aby przyrost temperatury otoczenia kabla spowodowany sąsiedztwem rurociągu cieplnego nie przekraczał 5^0.

IV. SKRZYŻOWANIA I ZBLIŻENIA Z LINIAMI KOLEJOWYMI UŻYTKU PUBLICZNEGO

§ 10. Skrzyżowania.

1. Kąt skrzyżowania powinien być o ile możności zbliżony do kąta prostego.

2. Linia kablowa pod torowiskiem musi być ułożona w osłonie otaczającej lub kanale kablowym tak, aby kabel można było wciągać i wyciągać bez rozkopywania torowiska, przy czym przy skrzyżowaniu z linią trakcji elektrycznej osłona musi być z materiału nieprzewodzącego prąd. Zabezpieczenie to powinno przechodzić pod całą szerokością torowiska i na długości co najmniej po 250 cm po obu stronach szyn skrajnych, a przy skrzyżowaniu z linią tramwajową w obrębie miasta co najmniej po 150 cm.

3. Górny grzbiet osłony lub kanału kablowego powinien znajdować się na głębokości co najmniej 100 cm pod stopą szyny kolejowej lub tramwajowej.

4. Przy skrzyżowaniu linii kablowej z linią kolejową można wykorzystać przepusty kolejowe, jednakże kable muszą być zabezpieczone przed uszkodzeniami mechanicznymi.

§ 11. Zbliżenia.

1. Linie kablowe należy układać o ile możności poza rowami odwadniającymi. Odległość pozioma między kablem a skrajną szyną toru kolejowego ma wynosić co najmniej 250 cm.

Jeżeli tory ułożone są wzdłuż jezdni ruchu kołowego, a kabel pod chodnikiem, to powyższa odległość może być zmniejszona do 125 cm.

Odległość pozioma między kablem a skrajną szyną toru trakcji elektrycznej ma wynosić co najmniej 300 cm. Powyższa odległość w wyjątkowych przypadkach może być zmniejszona do 100 cm, jeżeli oporność przejściowa między gruntem a kablem zostanie powiększona przez ułożenie kabla w osłonie izolacyjnej, np. w rurach kamionkowych, rurach żelaznych specjalnie asfaltowanych itp.

2. Trasa linii kablowej winna być oznaczona w sposób widoczny za pomocą trwałych znaków ustawionych na powierzchni ziemi (np. wkopanych słupków betonowych, większych kamieni itp.). Na znakach tych mają być umieszczone napisy, wskazujące napięcie (N — niskie napięcie, W — wysokie napięcie) oraz właściciela kabla (skrót nazwy zakładu).

W miejscach, gdzie nie można ustawić trwałych znaków, należy umieścić na ścianach najbliższych budynków lub trwałych ogrodzeń tabliczki z podaniem odległości od trasy kablowej i wyżej wymienione napisy.

V. SKRZYŻOWANIA I ZBLIŻENIA Z WODAMI PUBLICZNYMI

§ 12. Skrzyżowania.

1. Do układania kabli pod wodą (np. przy przejściach przez rzeki, jeziora itp.) należy stosować w razie potrzeby kabel w pancerzu z drutów stalowych dostatecznie wytrzymałym na rozerwanie.

2. Jeżeli linie kablowe przecinają żeglowną lub spławną wodę publiczną, to kabel ma być zagłębiony na całej długości w dno co najmniej 100 cm i ewentualnie zasypany żwirem i kamieniami. W miejscu wyjścia z wody kabel ma być ułożony w osłonie otaczającej, której jeden koniec znajduje się poniżej najniższego poziomu wody, drugi zaś dochodzi do linii drogi holowniczej.

3. Podwodna część kabla powinna być o ile możności bez złączy; jeżeli złącza są konieczne, to mufy złączowe muszą być specjalnej konstrukcji (mufy podwodne).

4. Przy skrzyżowaniu z rzeką kabel powinien być ułożony w miarę możności na prostym i głębokim odcinku rzeki, na którym dno i brzegi ulegają w nieznacznym stopniu podmyciu.

5. Należy unikać układania kabli w portach rzecznych oraz w miejscach postoju i zimowania statków.

6. Przy skrzyżowaniu linii kablowej z wodą należy przewidzieć zapasy długości kabla, zwinięte w ziemi na obu brzegach wody.

7. Przy skrzyżowaniu płytkich rzeczułek i strumyków kabel ma być ułożony w osłonie otaczającej bądź na betonowym lub metalowym mostku, bądź poniżej dna, albo też ma być zakopany pod dnem na głębokości co najmniej 50 cm bez osłony otaczającej, lecz z przykryciem.

8. Przy krzyżowaniu rzek nieregulowanych profil skrzyżowania należy określić na podstawie planu regulacyjnego, a w braku takiego planu, na podstawie wskazówek, udzielonych przez właściwe władze wodne.

9. Na brzegu rzeki kabel musi być zabezpieczony przed odsłonięciem, które może powstać na skutek podmycia lub spłukania brzegu przez nurt rzeki.

10. Położenie linii kablowej należy oznaczyć na obu brzegach trwałymi tablicami dobrze widocznymi ze środka rzeki. Tablice te mają na celu ostrzeganie przed wybieraniem piasku, zarzuceniem kotwicy lub opieraniem o dno okutych wioseł w miejscu ułożenia kabla.

Biblioteka Politechniki Wrocławskiej

§ 13. Zbliżenia.

1. Linie kablowe należy układać w takiej odległości od rzeki, aby kabel nie był podmywany przez nurt rzeki.

2. Oznaczenia trasy kablowej mają być wykonane stosownie do wskazówek podanych w § 11 p. 2.

3. Miejsce ułożenia kabla wzdłuż wód nieregulowanych powinno być ustalone w porozumieniu z właściwą władzą wodną.

4. Głębokość zakopania kabli ma wynosić co najmniej 100 cm, a jeżeli kabel ułożony jest w skarpie, to co najmniej 120 cm.

VI. SKRZYŻOWANIA I ZBLIŻENIA Z DROGAMI

§ 14. Skrzyżowania.

1. Kąt skrzyżowania powinien być, o ile możności, zbliżony do prostego.

2. Pod drogą linia kablowa powinna być ułożona w osłonie otaczającej lub kanale kablowym tak, aby kabel można było wciągać i wyciągać bez rozkopywania drogi. Zabezpieczenie to musi przechodzić pod całą szerokością drogi między skrajniami, a w miastach przez całą szerokość jezdni.

3. Górny grzbiet osłony lub kanałów kablowych powinien się znajdować na głębokości co najmniej 100 cm pod nawierzchnią drogi.

4. Dla skrzyżowania linii kablowej z drogą można wykorzystać przepusty drogowe, jednakże kable muszą być zabezpieczone przed uszkodzeniami mechanicznymi.

§ 15. Zbliżenia.

1. Linia kablowa powinna być ułożona, o ile możności, poza rowami odwadniającymi, a w osiedlach pod chodnikami.

2. Głębokość zakopywania linii kablowej ma wynosić co najmniej 100 cm.

3. Oznaczenia trasy kablowej mają być wykonane stosownie do wskazówek podanych w § 11 p. 2.

VII. ZBLIŻENIA Z BUDYNKAMI I KONSTRUKCJAMI BUDOWLANYMI.

§ 16. Zbliżenia.

1. Odległość pozioma kabla od budynków lub konstrukcji budowlanych powinna wynosić co najmniej 50 cm.

Odległość ta może być zmniejszona do 25 cm pod warunkiem, że na całej długości zbliżenia i po 50 cm po obu stronach zbliżenia kabel jest zabezpieczony osłoną otaczającą.

Roman Posławski

Fabryka Aparatur Termicznych

Bielsko

Fabryka: 1 Maja 23, tel. 27-92 -- Biura: 1 Maja 36, tel. 23-98

RAMOWY PROGRAM WYTWÓRCZOŚCI

Aparatura normalna

Elektromagnetyczne luzowniki hamulcowe na prąd 3-fazowy w wielkościach 24—300 kgcm, przy skoku 30—50 mm, 120—300 łączeń na godzinę
Termin dostawy 2—3 tygodnie

Oporniki dźwigowe żeliwne na czas włączenia 25%, 40% i więcej we wszystkich układach, w osłonie od przypadkowego dotknięcia lub kapiącej wody
Termin dostawy 2—3 tygodnie

Nastawniki dźwigowe w układzie „a", „eh" lub „c" do silników dźwigowych lub napędów do 120 kW
Termin dostawy 6—8 tygodni

Wyłączniki krańcowe wrzecionowe dla prądu 25, 40, 60 i 120 A, liczby obrotów wrzeciona 36, jedno- lub dwukierunkowe
Termin dostawy 6—8 tygodni

Wyłączniki dźwigowe do zabezpieczenia silników lub do rozdzielni okapturzonych z 2-ma lub 3-ma wyzwalaczami elektromagnetycznymi, cewką zanikową, dla prądów nominalnych 100—450 A
Termin dostawy 2—3 tygodnie

Rozdzielnie dźwigowe z wyłącznikiem głównym i zabezpieczeniem termicznym dla każdego zasilanego silnika w 2-ch lub 3-ch fazach (zabezpieczenie termiczne działa na obwód cewki zanikowej)
Termin dostawy 2—3 tygodnie

Styczniki suche dla prądów nominalnych 60, 100, 150, 200 i 350 A, do pracy ciężkiej, liczba łączeń od 300 na godzinę wzwyż, w osłonie spawanej
Termin dostawy 3—4 miesiące

Chwytniki elektromagnetyczne do podnoszenia złomu i bloków o udźwigu do 7 ton
Termin dostawy 2 miesiące

Kondensatory do poprawienia cos φ na napięcie 500, 3000 i 6000 V o mocach do 100 kVAr na jednostkę
Termin dostawy 3—4 miesiące

Rozdzielnie żeliwne okapturzone systemu „U"
Termin dostawy 2—3 tygodnie

Przełączniki gwiazda-trójkąt w okapturzeniu żeliwnym dla prądów znamionowych 25 i 40 A
Termin dostawy 2 miesiące

Patrony bezpiecznikowe dużej mocy, rzędu 10 kV, dla prądów znamionowych 200 A ze wskaźnikiem zadziałania
Termin dostawy 2 miesiące

Odłączniki bezpiecznikowe rzędu 10 kV na 200 A do patronów ze wskaźnikiem zadziałania
Termin dostawy 3 miesiące

Spawarki transformatorowe łukowe do 350 A prądu spawania z regulacji ciągłej w trzech zakresach od 15 do 350 A

Aparatura specjalna

Piece do żarzenia miedzi syst. Grünewald
Piece indukcyjne do topienia metali
Kotły do nasycania i polimeryzacji uzwojeń i cewek do silników, aparatów i innych maszyn elektrycznych

W okresie powojennej odbudowy kraju wyposażyliśmy w aparaturę elektryczną przeszło 150 dźwigów portowych, hutniczych i do przeładunku węgla

Biblioteka Politechniki Wrocławskiej

Lista członków Stowarzyszenia Elektryków Polskich

(Stan na 10 października 1947 r.)

ODDZIAŁ BIAŁOSTOCKI

Białkowski Karol, Białystok, Warszawska 46
Biziuk Gustaw, Sokółka, Elektrownia
Jelski Aleksander, Białystok, Swiętojańska 26
Kopijkowski Walenty, Białystok, Szpitalna 44
Kurak Walentyn, Białystok, Swiętojańska 15
Kuryłek Stefan, Bielsk Podlaski, Jagiellońska 5
Nowikow Eugeniusz, Grajewo, Boguszewska 34
Piotrowski Feliks, Białystok, Wesoła 15
Rode Sylwester, Białystok, Celownicza 5
Schild Witold, Łomża, Elektrownia
Słaboszewicz Józef, Białystok, Sobieskiego 5 m. 1
Staręga Wiktor, Białystok, Elektrownia
Stasiak Hieronim, Olecko Gołdap, Kamienna 6
Trocki Bernard, Suwałki, Wigierska 45
Wołąsewicz Leon, Białystok, Starobojarska 3

ODDZIAŁ DZIERZONIOWSKI

Hüttner Maurycy, Dzierżoniów, Słowackiego 26, m. 6
Kiliński Antoni, Dzierżoniów, Pl. Bieruta 3, m. 2
Lang Ernest, Dzierżoniów, Poptańskiego 9
Łukasiak Henryk, Dzierżoniów, Pl. Bieruta 1
Miłkowska Maria (T), Dzierżoniów, Słowackiego 32, m. 5
Rotkiewicz Wilhelm (T), Dzierżoniów, Szkolna 8
Ziembicki Jan (T), Bielawa, Ogrodowa 9

ODDZIAŁ GDAŃSKI

Bohusiewicz Mieczysław, Sopot, Zamkowa 8
Brudzewski Mieczysław, Gdańsk-Wrzeszcz, Wallenroda 19 m. 5
Chwalibóg Jan, Gdańsk-Wrzeszcz, Na Wzgórzu 16
Ciechanowicz Piotr, Gdańsk-Wrzeszcz, Na Wzgórzu 32
Dąbrowski Stanisław, Gdynia-Pelplin, Dworcowa 6
Domański Edward, Gdańsk-Wrzeszcz, Na Wzgórzu 18
Dorosz Łukasz, (T), Gdańsk-Wrzeszcz, Batorego 20
Dziedzic Jerzy, Gdańsk-Wrzeszcz, Al. Wojska Polskiego 24
Fabierkiewicz Stanisław, Gdańsk-Wrzeszcz, Na Wzgórzu 29
Fedorowicz Władysław, Gdańsk-Wrzeszcz, Grażyny 11
Gabszewicz Czesław, Gdańsk-Wrzeszcz, Mickiewicza 49
Garbolewski Leonard, Gdańsk-Wrzeszcz, Jaśkowa Dolina 26
Goldnik Jan, Oliwa, Grunwaldzka 485
Gościcki Ignacy, Gdańsk-Wrzeszcz, Na Wzgórzu 9
Hacker Ernest, Oliwa, Polanki 72a
Hoffmann Alfons, Gdańsk-Wrzeszcz, Al. Wojska Polskiego 24
Hoffmann Marian, Gdańsk-Wrzeszcz, Al. Wojska Polskiego 24
Husarski Lech, Sopot, Kościuszki 4
Jabłonka Eugeniusz, Gdańsk-Wrzeszcz, Kossaka 4 m. 7
Jankowski Kazimierz, Gdańsk-Wrzeszcz, Parkowa 4 m. 10
Januszkiewicz Bohdan, Gdańsk-Wrzeszcz, Al. Wojska Polskiego 26
Jekiełek Ludwik, Sopot, Grunwaldzka 18
Jezierski Antoni, Gdańsk-Wrzeszcz, Limanowskiego 7
Kaniewski Stanisław, Gdańsk, Lipowa 10
Kasprzycki Władysław, Gdańsk-Wrzeszcz, Al. Wojska Polskiego 24
Kopecki Kazimierz, Oliwa, Grottgera 4
Kortylew Stanisław, Gdynia, Starowiejska 34
Kuropatwiński Stanisław, Oliwa, Szczecińska 42
Kurski Longin, Gdańsk-Wrzeszcz, Al. Wojska Polskiego 14
Kwolek Jan, Gdynia, Bandurskiego 44 m. 10
Lenkowski Józef, Gdańsk, Politechnika
Lipski Tadeusz, Gdańsk-Wrzeszcz, Syrokomli 8
Mackiewicz Mieczysław, Gdańsk-Wrzeszcz, Szopena 35
Majchrzakowski Klemens, Gdańsk-Wrzeszcz, Zbyszka z Bogdańca 13
Majewski Jerzy, Sopot, Adama Dickmana 2
Malecki Ignacy, Gdańsk-Wrzeszcz, Na Wzgórzu 28
Markiewicz Henryk, Gdynia, Warszawska 14 m. 3
Markus Franciszek, Sopot, Kościuszki 4
Michalik Roman, Sopot, Wybickiego 31
Miedziński Edward, Tczew, Elektrownia
Mioduszewski Jerzy, Sopot, Stalina 715
Nowicki, Gdynia, I Armii 58/1a
Olszewski Jan, Gdynia, 3-go Maja 14
Osiński Zbigniew, Gdynia, 3-go Maja 14
Pauli Witold, Gdańsk-Wrzeszcz, Politechniczna 6
Piasecki Jan, Gdańsk-Wrzeszcz, Na Wzgórzu 38
Piątek Stefan, Gdynia, Świętojańska 99
Rewkowski Stanisław, Gdańsk-Wrzeszcz, Roosevelta 92
Samkowicz Anatoliusz, Gdańsk-Wrzeszcz, Roosevelta 24
Spichalski Alojzy, Gdańsk-Wrzeszcz, Al. Wojska Polskiego 14
Staniewicz Leon, Gdańsk-Wrzeszcz, Uphagena 15
Szpor Stanisław, Gdańsk-Wrzeszcz, Politechnika Gdańska
Szukszta Wiktor, (T), Gdańsk-Wrzeszcz, Politechniczna 10 m. 7
Szulc Zygmunt, Gdynia, 3-go Maja 14
Szulkin Paweł, Gdańsk-Wrzeszcz, Uphagena 9
Szymborski Zbigniew, Sopot, Kościuszki 53
Szymkowiak Józef, Gdańsk-Wrzeszcz, Jaśkowa Dolina 10
Szyperski Wincenty, Kartuzy, 3-go Maja 4
Świrkowski Edward, Gdańsk-Wrzeszcz, Saperów 13
Tolwiński Konstanty, Gdynia, Główny Urząd Morski
Trzetrzewiński Stanisław, Gdańsk-Wrzeszcz, Matejki 23 m. 2
Utliński Gerard, Gdańsk, Kartuska 14
Wierzbowski Zygmunt, Gdańsk-Wrzeszcz, Jaśkowa Dolina 20a
Więckiewicz Franciszek, Sopot, Grunwaldzka 36
Winogradow Wsiewołod (T), Sopot, Kościuszki 2
Własiuk Stanisław, Gdańsk-Wrzeszcz, Piękna 7
Wyszkowski Sławomir, Gdańsk-Wrzeszcz, Kliniczna 1b
Wyrzykowski Zygmunt, Puck, Mestwina 1 m. 5
Zelenay Adolf, Wrzeszcz, Szopena 27
Ziemięcki Józef, Sopot, Sobieskiego 18
Żurakowski Jerzy, Gdańsk-Wrzeszcz, Sobieskiego 16

ODDZIAŁ JELENIOGÓRSKI

Baum Kazimierz, Jelenia Góra, Weigla 24
Biały Leszek, Jelenia Góra, Grudziądzka 16
Bresler Izaak, Jelenia Góra, Okrzei 5
Centkiewicz Czesław, Jelenia Góra, Fredry 4
Czarnecki Roman, Jelenia Góra, Bogusławskiego 2
Długoborski Władysław, Jelenia Góra, Drzymały 29
Fajkosz Hipolit, Jelenia Góra, Bogusławskiego 11
Folga Józef, Złotoria, Stroma 1
Gąssowski Leon, Jelenia Góra, Obrońców 8
Glinowiecki Bernard, Jelenia Góra, Sobieskiego 80
Grodzicki Mirosław, Jelenia Góra, Okrzei 2
Gryff-Chamski Jan, Jelenia Góra, Krawiecka 5
Gwizda Waldemar, Matejkowice 151
Hałka Zdzisław, Jelenia Góra, Fredry 6
Hładki Stanisław, Świebodzice, Mickiewicza 2
Jackiewicz Józef, Jelenia Góra, Bogusławskiego 2
Jarmułowicz Mikołaj, Wałbrzych, Niepodległości 170
Jaruszewski Piotr, Jelenia Góra, Kasprowicza 28
Kibortt Dominik, Cieplice, Wiejska 16
Kibycz Taras, Legnica, Warzywna 21
Kilianowicz Józef, Wałbrzych, Z. E. O. D. Śl.
Konecki Zygmunt, Jelenia Góra, Bogusławskiego 2
Kosieradzki Witold, Jelenia Góra, Bogusławskiego 3
Kowal Jan, Kaławsk, Elektrownia
Kozłowski Piotr, Kaławsk, Elektrownia
Kurdziel Roman, Wrocław, Z. E. Okr. Śląskiego, Plac Powstańców Śląskich
Luberadzki Sławomir, Jelenia Góra, Szewcka 8
Łazarowicz Jan, Jelenia Góra, Wzgórze Partyzantów 11
Łukaszewicz Julian, Jelenia Góra, Bogusławskiego 2
Łysakowski Władysław, Jelenia Góra, Weigla 22
Marcinowski Henryk, Jelenia Góra, Bogusławskiego 2
Michałowski Stanisław, Jelenia Góra, Fredry 8
Morawska Maria, Jelenia Góra, Fredry 6
Moszczyński Stanisław, Jelenia Góra, Bogusławskiego 2
Mściwojewski Kazimierz, Kaławsk, Elektrownia
Musiałek Stanisław, Jelenia Góra, Krasnoludków 1
Nowakowski Mieczysław, Głogów, Elektrownia
Ossowski Włodzimierz, Jelenia Góra, Bogusławskiego 3
Pawelski Wincenty, Wałbrzych, Elektrownia
Pleskaczewski Anatol, Żary, Pomorska 20
Pochorecki Roman, Jelenia Góra, Daszyńskiego 12
Raszewski Janusz, Jelenia Góra, Bogusławskiego 2
Richter Herman, Jelenia Góra, Wyczółkowskiego 18
Rozenberg Szymon, Legnica, Warzywna 21
Slonkin Teodozjusz, Jelenia Góra, Okrzei 16
Sowiński Marian, Skałeczno, Elektrownia, pow. Kładzko
Staniewicz Marian, Legnica, Warzywna 21
Szymański Czesław, Jelenia Góra, Kochanowskiego 4
Winiarski Tadeusz, Jelenia Góra, Bogusławskiego 10
Zarzębski Edward, Jelenia Góra, Kolejowa 25

ODDZIAŁ KRAKOWSKI

Asler Roman, Kraków, Szymanowskiego 11 m. 9
Argasiński Tadeusz (T), Kraków, Dyr. Okr. Poczt i Telegrafów
Balicki Adam, Kraków, 18 Stycznia 35 m. 2
Barzyński Jan, Siersza Wodna, Elektrownia Okręgowa
Bilak Bogdan, Libiąż Mały, Kopalnia „Janina"
Blumental Karol, Kraków, Wąsowicza 8 m. 13
Bohdan Kazimierz, Kraków, Sienkiewicza 7 m. 9
Braatman Ignacy, Kraków, 18 Stycznia 35 m. 2
Chróściewicz Kazimierz, Tarnów, Sawińskiego 22 m. 1
Chylak Stefan, Kraków, Kremerowska 14 m. 4
Ciołczyk Erazm, Kraków, Urzędnicza 44 m. 14
Darasz Edmund, Jaworzno, Pszczelnik 2
Demel Wacław, Kraków, Michałowskiego 11 m. 5
Dmowski Ignacy, Kraków, Romanowicza 9
Dohnalik Kazimierz, Kraków, Senatorska 1
Drewniewski Stanisław, Kraków, Słoneczna 10 m. 7
Drobot Jan, Kraków, Al. Mickiewicza 33
Dziedzic Antoni, Kraków, Radziwiłłowska 9
Dziewoński Marian, Kraków, Syrokomli 11a
Dziurzyński Stanisław, Kraków, Józefitów 21
Frydman Wacław, Kraków, Litewska 4
Frydrychowicz Jerzy, Kraków, Urzędnicza 46 m. 9
Geiringer Ernest, Kraków-Płaszów, Fabryka Kabli
Geissler Tadeusz, Kraków, Karmelicka 52
German Alojzy, Rzeszów, SPB
Geschwind Zygmunt, Kraków, Al. Słowackiego 40 m. 10
Głowacki Władysław, Wieliczka, Konopnickiej 23
Gołębiowski Stanisław, Kraków, 18 Stycznia 52 m. 7
Guzdek Ludwik, Kraków, Lelewela 18 m. 5
Haubrich Kazimierz, Jaworzno, Sportowa 2
Hauschild Ludwik, Wieliczka, Krakowska 37
Jarosiński Julian, Tarnów, Piotra Skargi 10 m. 1
Jasicki Zbigniew, Kraków, 18 Stycznia 35 m. 3
Jasiłkowski Stanisław, Mościce, P. Z. F. A.
Jezierski Zygmunt, Kraków, Dajwór 27, Elektrownia Miejska
Kaim Mieczysław, Kraków, Miodowa 39 m. 4
Kiełbik Wacław, Kraków-Płaszów, Prokocimska 75
Kijas Stanisław, Kraków, Rakowicka 8
Kizewski Piotr, Rożnów, Elektrownia
Koffer Bolesław, Jaworzno, Urzędnicza 4
Kolaczek Wiktor, Kraków, Topolowa 8 m. 9
Kossakowski Tadeusz, Tarnów, Krakowska 38
Kowalczyk Stanisław, Kraków-Płaszów, Fabryka Kabli
Kowalik Kazimierz, Jaworzno, Zacisze 3
Krawczyk Stanisław, Kraków, Plac Matejki 6 m. 4
Kubiczek Karol, Kraków, Al. Krasińskiego 5

Kudrewicz Konstanty, Kraków, Romanowicza 9
Kurpielski Karol, Krakow, Dajwor 27, Elektrownia Miejska
Kurzawa Stanisław, Krakow, Limanowskiego 27 m. 4
Kwiecien Zygmunt, Krakow, Urzędnicza 27 m. 8
Lelito Ludwik, Krakow, Jozefitow 6
Limanowski Henryk, Krakow, Dajwór 27, Elektrownia
Lipman Jan, Krakow, Gertrudy 10
Ławcewicz Stefan, Krakow, 18 Stycznia 60 m. 2
Malara Stefan, Jaworzno, Bory, Kop. „Sobieski"
Mamczarczyk Jan, Krakow, Borek Fałęcki, ul. Główna 120
Matlak Jan, Krakow, Dajwor 27, Elektrownia Miejska
Mittelstaedt Tadeusz, Siersza Wodna, p-ta Trzebinia
Moskalewski Tadeusz, Krakow-Płaszow, Fabryka Kabli
Muchlicki Bolesław, Jaworzno, Elektrownia
Niemczycki Władysław, Stalowa Wola, ul. A. B. 6 m. 6
Niesiołowski Mieczysław, Krakow, Podchorążych 11 m. 4
Nitecki Franciszek, Krakow, Dajwór 27, Elektrownia Miejska
Nycz Mieczysław, Krakow, Dietla 81 m. 12
Orski Jan, Krakow, Dajwor 27, Elektrownia Miejska
Palimąka Jozef, Krakow, Syrokomli 19a m. 5
Pasierbiewicz Michał, Siersza Wodna, Elektrownia Okręgowa
Pasternak Antoni, Krakow, Dajwor 27, Elektrownia Miejska
Pawica Jan, Kraków, Dajwór 27, Elektrownia Miejska
Pawlik Jan, Krakow, Dajwor 27, Elektrownia Miejska
Piekarski Jozef, Krakow, Dajwor 27, Elektrownia Miejska
Pirog Czesław, Krakow, Karmelicka 46
Puchałka Franciszek, Krakow, Dajwór 27, Elektrownia Miejska
Pur Fryderyk, Krakow, Jozefitow 21
Rauch Zdzisław, Krakow, Łobzowska 41
Rodanski Stanisław, Krakow, Dajwór 27, Elektrownia Miejska
Rutka Jozef, Krakow, Barska 21 m. 7
Schmidt Jan, Krakow, Dajwór 27, Elektrownia Miejska
Sieniawski Stefan, Krakow, Pańska 10 m. 6
Skóra Wincenty, Krakow, Dajwór 27, Elektrownia Miejska
Skrbenski Kazimierz, Sucha k. Żywca, Stacja Kolejowa
Solarewicz Roman, Zakopane, Bulwar Słowackiego 2557 (Elektr. Olcza)
Spiechowicz Stefan, Kraków, Św. Filipa 6 m. 4
Stachurski Polikarp, Jaworzno, Parkowa 11
Szczepkowski Józef, Tarnów, Paderewskiego 3
Szczerbuła Jerzy, Kraków, Dajwór 27, Elektrownia Miejska
Szymanowicz Stefan, Kraków, Gontyna 3
Traczewski Adam, Krakow, Smolenska 23 m. 7
Turek Stefan, Kraków-Prokocim, Narutowicza 1
Tyszkowski Zygmunt, Brzeszcze, Kopalnia
Walaszek Józef, Kraków, Smolenska 16 m. 12
Walczak Stanisław, Kraków, Lotnicza 30 m. 4
Weberman Henryk, Siersza Wodna, Elektrownia
Weigel Milleret Stefan, Tarnów, O. Z. E. T.
Weisberg Jerzy, Krakow, Kolberga 12 m. 12a
Wendorff Andrzej, Kraków, Dajwór 27, Elektrownia Miejska
Węglarz Stefan, Kraków, Dajwor 27, Elektrownia Miejska
Wierciak Jan, Kraków, Prokocimska 75
Winiarski Józef, Kraków, Al. Krasińskiego 5 m. 17
Włodek Ferdynand, Kraków, Zdrowa 18 m. 5
Woch Wojciech, Kraków, Popiela 21 m. 4
Worotnicki Józef, Kraków, Pawia-Boczna 10 m. 9
Zborowski Roland, Kraków, Dajwór 27, Elektrownia Miejska
Zemanek Marian, Kraków, Prokocimska 75
Zgliński Leonard, Kraków, Dajwór 27, Elektrownia Miejska
Ziemnicki Henryk, Tarnów, Brodzińskiego 31 m. 12
Zięba Tadeusz, Kraków, Dajwór 27, Elektrownia Miejska
Ziółkowski Stanisław, Kraków, Al. Słowackiego 21 m. 6

ODDZIAŁ LUBELSKI

Białopiotrowicz Ignacy, Lublin, Bychawska 60 m. 6
Bocheński Tadeusz (T), Lublin, Dyr. Okr. Poczt i Telegrafów
Borkowski Stanisław, Lublin, Szopena 23 m. 5
Czerwiński Jan, Lublin, Czeska 6
Golla Romuald, Lublin, Szopena 12
Iwanicki Józef, Lublin, Kopernika 1D
Jankiewicz Zygmunt, Lublin, Rynek 11 m. 9
Jeziorkowski Stanisław, Lublin, Szopena 11 m. 8
Jopkiewicz Julian, Krasnystaw, „Lubzel"
Kacejko Leonid, Lublin, Wysockiego 3 m. 2
Kasperek Grzegorz, Lublin, Złota 6
Kołodziejczyk Wiktor (T), Lublin, Dyr. Okr. Poczt i Telegrafów
Krzywicki Romuald, Lublin, Przemysłowa 5 m. 3
Kucharski Jerzy, Lublin, Narutowicza 13
Kułakowski Józef, Niedrzwica, pow. Lublin
Kurcewski Stanisław, Lublin, Dominikańska 7 m. 18
Kwieciński Stefan (T), Lublin, Szopena 9
Latała Jan, Lublin, Zgoda 3 m. 12
Marciniak Włodzimierz, Lublin, Słowackiego 1
Nahorski Czesław, Biała Podlaska Dreszera 8
Oleszczuk Stanisław, (T), Lublin, Okr. Skład. Mat. Teletechnicznych
Oszkodar Aleksy, Lublin, Długa 6
Pawlak Zygmunt, Lublin Ś-to Duska 20 m. 65
Podkowa Stanisław, Lublin, Chłodna 4 m. 6
Polak Jerzy, Lublin, Czwartaków 6
Rogowski Jacek, Lublin, Krakowskie Przedmieście 55
Rutkowski Edward, Lublin, Bychawska 102
Serwin Józef, Zamość, Żeromskiego 24 m. 5
Skrzetuski Stanisław, Lublin, Lubartowska 15 m. 3
Skwarek Cyprian, Lublin, Lipowa 21
Szwentner Tadeusz, Lublin, Piękna 6
Trześniewski Roman, Szczebrzeszyn, Zamojska 26
Wiśniewski Stanisław, Lublin, Narutowicza 45 m. 5
Wójtowicz Julian, Lubartów, Nowodworska 4
Zubilewicz Mieczysław, Lublin, Nowy Świat 7 m. 5
Zwoliński Romuald, Lublin, Głowackiego 11 m. 3

ODDZIAŁ ŁÓDZKI

Arendt Artur, Łódź, Grobelna 4
Aweryn Jerzy, Łódź, Gdańska 72
Borejko Kazimierz, Piotrków Trybunalski, Słowackiego 23
Borkowski Karol, Łódź, Piotrkowska 125
Brojan Józef, Łódź, Narutowicza 31
Bronikowski Stefan, Łódź, Piotrkowska 171
Brzozowski Julian, Łódź, Mostowa 19b
Chorąży Albin, Łódź, Pabianicka 246
Dąbrowski Czesław, Łódź, Daszyńskiego 37
Dziamiarski Władysław, Łódź, Kilińskiego 72
Dzierzbicki Stanisław, Łódź, Przędzalniana 5
Ewich Eugeniusz, Łódź, Kraszewskiego 6
Fuks Ludwik, Łódź, Jaracza 13
Gralewski Stefan, Łódź, Dąbrowska 45
Hauzer Jan, Łódź, Daszynskiego 37
Jakobsohn Jakub, Łódź, Południowa 42
Jaroszyński Stanisław, Łódź, Roosevelta 16
Jezierski Eugeniusz, Łódź, Kilińskiego 82
Kaczmarek Aleksy, Łódź, Zawadzka 14
Kaczmarski Witold, Łódź, Górna 27
Kamiński Zygmunt, Łódź, Łagewnicka 101
Karsnicki Felicjan, Łódź, Moniuszki 5
Kenig Eugeniusz, Łódź, Pabianicka 55
Kieruczenko Bogumił, Łódź, Malewskiego 4a
Knapik Feliks, Łódź, Daszynskiego 86
Kobryner Herman, Łódź, Nawrot 26
Kobylinski Marian, Zgierz, Towarowa 14
Konczykowski Stanisław, Łódź, Kilińskiego 82
Konorski Bolesław, Łódź, Moniuszki 5
Konczynski Henryk, Łódź, Kopernika 64
Kopczynski Zbigniew, Łódź, Dowborczyków 31
Kopczyński Zdzisław, Łódź, Przędzalniana 71
Kossakowski Kazimierz, Pabianice, Grobelna 4
Kotelewski Włodzimierz, Łódź, Zgierska 250
Kozłowski Tadeusz Ewaryst, Łódź, Daszyńskiego 58 ZEOŁ
Kruze Aleksander, Łódź, Sienkiewicza 22
Kwal Marceli, Łódź, Piotrkowska 111
Ładyński Zygmunt, Łódź, Piotrkowska 278
Majer Karol, Łódź, Biegańskiego 62
Makówka Zdzisław, Łódź, Srebrzyńska 83
Mańko Stanisław, Łódź, Daszyńskiego 37
Marchwicki Stanisław, Łódź, Przędzalniana 71
Marliński Antoni, Łódź, Kilińskiego 72
Michelis Bronisław, Łódź, Piotrkowska 293
Mikołajczyk Aleksander, Łódź, Przędzalniana 71
Miller Czesław, Łódź, Al. 1 Maja 56a
Młochowski Hipolit, Łódź, Rzgowska 51
Napiórkowski Jan, Łódź, Kilinskiego 72
Nowicki Henryk, Łódź, Pabianicka 55
Pełczewski Władysław, Łódź, Kilińskiego 82
Przybylski Jerzy, Łódź, Piotrkowska 111
Przybyszewski Czesław, Łódź, Nawrot 32
Rendzner Jan, Łódź, Srebrzyńska 1
Romanowski Jerzy, Łódź, Dowborczyków 20
Sawicki Roman, Łódź, Gdańska 12
Siciński Zbigniew (T), Kalisz, Częstochowska 19
Sieradzki Mieczysław, Piotrków Trybunalski, Elektrownia
Skarzynski Wiesław, Łódź, Legionów 61
Snawadzki Stefan, Łódź, Targowa 10
Sosnowski Dionizy, Łódź, Narutowicza 45
Sosnowski Dionizy (T), Łódź, Al. Kościuszki 12, Urząd Telegraf.
Sowior Stanisław, Łódź, Gdańska 67
Spira Stefan, Łódź, Wólczańska 145
Starczaków Walenty, Łódź, Wólczańska 226
Świderek Józef, Zgierz, Średnia 25
Szymankiewicz Zygmunt, Łódź, Kilińskiego 72
Szyszko Teodor, Łódź, Daszyńskiego 40
Temerson Leopold, Łódź, Piotrkowska 164 m. 2
Urbanowicz Heliodor, Łódź, Trębacka 16
Wajnberg Julian, Łódź, Kilińskiego 72
Weikert Aleksander, Łódź, Piotrkowska 111
Wesołowski Stanisław, Łódź, Starorudzka 63
Wiland Michał, Łódź, Sienkiewicza 69
Wiśniewski Zenon, Zgierz, Strykowska 69
Woyde Stanisław, Żychlin, Rohn-Zieliński
Wrede Stanisław, Łódź, Biegańskiego 47
Wróblewski Zbigniew, Łódź, Narutowicza 9
Żaboklicki Marian, Łódź, Magistracka 17

ODDZIAŁ MAZOWIECKI

Antkiewicz Jan, Ciechanów, Kościelna 17
Bartman Julian, Płock, Dobrzyńska 27
Biełyszew Leon, (T), Ciechanów, Rej. Urząd Telef. i Telegraf.
Bocian Stanisław, Łowicz, Mostowa 30
Bogdanowicz Jerzy, Skierniewice, Sienkiewicza 22
Borkowski Mikołaj, Płock, Dobrzyńska 27
Byszewski Władysław, Płock, Misjonarska 1
Chrzanowski Witold, Ciechanów, Wyzwolenia 16 m. 2
Ciszecka Józefa, Pock, Dobrzyńska 27
Cybulski Jerzy, Płock, Dobrzyńska 27
Cywiński Stanisław, Płock, Dobrzyńska 27
Czarnowski Jan, Płock, Dobrzyńska 27
Dobrzyński Kazimierz, Łowicz, Mostowa 30
Dolecki Henryk, Płock, Szeroka 1
Dolecki Władysław, Ciechanów, Narutowicza 21
Donarski Franciszek, Płock, Szeroka 1 m. 9
Dorobek Mieczysław, Płock, Dobrzyńska 27
Dzierzęcki Tadeusz, Płock, Dobrzyńska 27
Fabirkiewicz Mieczysław, Płock, Stary Rynek 22
Falkowski Wacław, Łowicz, Mostowa 30
Gajewski Józef, Żychlin, Narutowicza 9
Gajzler Mieczysław, Sierpc, P. O. W. 48
Głogowski Tadeusz, Ciechanów, Warszawska 51
Gogolewski Stanisław, Ciechanów, Warszawska 51
Gorbacz Wacław, Płock, Dobrzyńska 27
Grzybowski Marian, (T), Ciechanów, Rejonowy Urząd Tel. i Telegr.
Hacki Włodzimierz, Płock, Dobrzyńska 27
Haśko Zbigniew, Płock, Dobrzyńska 27
Jakubiak Damian, Płock, Dobrzyńska 27
Jeremicz Stanisław, Płock, Dobrzyńska 27
Kamiński Stefan, Płock, Stary Rynek 22
Kujawa Jan, Ciechanów, Warszawska 51
Kwapiński Czesław, Sierpc, P. O. W. 48
Leiman Teofil, Płock, Stary Rynek 22

Maślik Wiktor, Płock, Stary Rynek 22
Mochocki Zygmunt, Ciechanów, Warszawska 51
Rudziński Czesław, Ciechanów, Nowozagumienna 23
Rutkowski Jan, Łowicz. Szewcka 31
Rzepkiewicz Eugeniusz, Ciechanów, Warszawska 51
Sałaciński Zygmunt, Płock, Dobrzyńska 27
Sozański Bogdan, Płock, Dobrzyńska 27
Wieczorek Sykstus, Nasielsk, Kilińskiego 35
Więcek Franciszek, Łowicz, Mostowa 30
Wirkutowicz Roman, Płock, Dobrzynska 27
Włoczewski Edward, Ciechanów, Warszawska 51

ODDZIAŁ MAZURSKI

Asztemborski Michał, Elbląg, Elektrownia
Baczyński Tadeusz, Olsztyn, Przyjaciół 22 m. 1
Białas Henryk, Elbląg, Płocka 7
Bogusz Mieczysław, Elbląg, Elektrownia
Byszewski Ludwik, Torun, Koszarowa 29
Cieslak Albin, Elbląg, Elektryczna 14
Ciosek Stanisław, Ostroda
Eisele Mieczysław, Olsztyn, Przyjaciół 17
Gajewski Mieczysław, Olsztyn, Marszałka Stalina 17 m. 5
Garliński Tadeusz, Olsztyn, Knosały 1
Goebel Kazimierz, (T), Dyr. Okr. Poczt i Telegraf.
Grabowski Jan, Olsztyn, Mickiewicza 14 a
Jarosiewicz Adam, Olsztyn, Grunwaldzka 45, m. 4
Kołodziejski Zbigniew, Elbląg, Elektryczna 16 m. 1
Kwiatkowski Leon, Olsztyn, Wojska Polskiego 21 m. 1
Leśnik Kazimierz, Olsztyn, Kolejowa 9 m. 3
Lincel Tadeusz, Lidzbark Warmiński, Bieruta 2
Maciak Władysław, Olsztyn, PKP, Gmach Dyrekcji O. K. P.
Mossakowski Stanisław, Olsztyn, Przyjaciół 30
Perkowski Stefan, Olsztyn, Warmijska 5, m. 3
Piwakowski Bohdan, Olsztyn, 1 Maja 6
Prussak Wacław, Elbląg, Elektryczna 18
Rauze Antoni, Łuczany-Giżycko, Staszyca 20
Roszko Teodor, Olsztyn, Mazurska 10
Sadowski Zbigniew, Elbląg, Elektryczna 10
Skolimowski Józef, Elbląg, Skierniewicka 13
Stańczyk Hugon, Elbląg, Elektrownia
Sudajtis Władysław, Olsztyn, Ogrodowa 1
Suszkiewicz Henryk, Elbląg, Elektrownia
Szczęsny Wiktor, Lidzbark/W., Spółdzielców 2-b m. 3
Szychulda Aleksander, Kwidzyń, Łąkowa 39
Szylejko Kazimierz, Olsztyn, Niepodległości 93 m. 2
Tyflewski Tadeusz, Olsztyn, Przyjaciół 5 m. 2
Zaleski Ludwik, Olsztyn, Przemysłowa 15 m. 6
Żbikowski Mieczysław, Olsztyn, Mazurska 15 m. 7
Żmitrowicz Józef, Olsztyn, Grotha Józefa 5

ODDZAŁ OPOLSKI

Bałdys Stefan, Nysa, Mikołaja Reja 16
Chrapkiewicz Stanisław, Nysa, Wyspiańskiego 11
Ciuk Aleksander, Koźle, Kościuszki 14
Ejsmond Tadeusz, Nysa, Powstańców 23
Galiński Jan, Nysa, Szymanowskiego 3
Grabczyk Jerzy, Nysa, Lwowskich Orląt 42
Hadasik Ewald, Raszowa, Słowackiego 25
Horzela Bogusław, Koźle, Traugutta 2
Jaworek Mieczysław, Nysa, Żwirki i Wigury 3
Józefowicz Jan, Nysa, Mikołaja Reja 24
Kłosowski Zygmunt, Nysa, Szymanowskiego 1
Kocik Marian, Nysa, Krasickiego 1
Kołaciak Mieczysław, Nysa, Szyna Śląska
Kopacz Mieczysław, Nysa, Krawiecka 3
Kopijka Jan, Ścinawa, pow. Prądnik
Kowalczyk Władysław, Nysa, Powstańców 37
Kulicki Ludwik, Nysa, Żwirki i Wigury 11
Mroczkowski Zdzisław, Nysa, Lwowskich Orląt 10
Neuman Aleksander, Nysa, Lwowskich Orląt 26
Pająk Józef, Nysa, Zakrzów 107
Pawela Stanisław, Nysa, Grodkowska 2
Pfeiffer Czesław, (T), Nysa, Powstańców 31
Plewko Wacław, Nysa, Szopena 22
Pośpieszyl Edward, Kluczbork, Wolności 3b
Puchalski Tadeusz, Odmóchów, Krakowska 35
Rosiński Stanisław, Kluczborek, Wolności 3b
Sadowski Stefan, Nysa, Lwowskich Orląt 10
Siemianów Julian, Nysa, Szymanowskiego 3
Szewczyk Stanisław, Nysa, Kwiatowa 17
Szpakowski Bronisław, Opole, Zajączka 9
Toczyski Bohdan, Nysa, Sienkiewicza 3
Tomanek Józef, Nysa, Krzywoustego 21
Tyblewski Stanisław, Opole, Konopnickiej 3
Włodarczyk Marian, Nysa, Rozdzielnia Hajduki
Zuba Jan, Nysa, Lwowskich Orląt 10

ODDZIAŁ POMORSKI

Andrzejewski Tadeusz, Bydgoszcz, Jagiellońska 54a
Bijasiewicz Jerzy, Bydgoszcz, Wyzwolenia 1
Buttner Zdzisław, Grudziądz, Budkiewicza 8
Chmara Leon, Bydgoszcz, Warmińskiego 8
Dandelski Janusz, Bydgoszcz, Wyzwolenia 1
Eichmann Jerzy, Bydgoszcz, Wyzwolenia 1
Gisman Władysław, Bydgoszcz, Dyrekcja PKP
Glama Jan, Siłownia Żur, pow. Świecie, p-ta Drzycim
Gliwiński Zygmunt, Siłownia Nieżychowo, pow. Wyrzysk, p-ta Białośliwie
Hałuszko Bazyli, Bydgoszcz, Wyzwolenia 1
Hellmann Włodzimierz, Bydgoszcz, Warmińskiego 8
Jankowski Sylwester, Bydgoszcz, Fordońska 112
Karabasz Edwin, Bydgoszcz, Warmińskiego 8
Karbowski Hubert, Toruń, Koszarowa 31
Kędziorski Maksym., Siłownia Gródek, pow. Świecie, p-ta Drzycim
Kolbiński Kazimierz, Bydgoszcz, Fordońska 112
Kwieciński Jan, Bydgoszcz, Fordońska 112
Lesiowski Janusz, Bydgoszcz, Sobieskiego 1
Łukasiewicz Jeremi, Bydgoszcz, Warmińskiego 8
Makowski Jan, Bydgoszcz, Jodłowa 11 m. 2
Masiulaniec Wacław, Bydgoszcz, Śniadeckich 61 m. 4
Misterek Antoni, Bydgoszcz, Wyzwolenia 1
Młodzik Franciszek, Bydgoszcz, Grunwaldzka 32
Mońka Jan, Bydgoszcz, Aleja 1 Maja 112
Nędzyński Zbigniew, Bydgoszcz, Długa 54
Nieciejewski Eugeniusz, Toruń, Wyspiańskiego 23
Nowicki Leon, Bydgoszcz, Warmińskiego 8
Paschke Łucjan, Toruń III, Pl. Fr. Skarbka 8 m. 9
Piotrowski Teodor, Toruń Piekary, Łuk Cezara
Rutter Leon, Bydgoszcz, Kujawska 1 m. 5
Siemiradzki Franciszek, Bydgoszcz, Świętej Trójcy 35
Sikorski Jan, Toruń, Szeroka 30
Skibiński Franciszek, Nakło
Średziński Lucjan, Bydgoszcz, Dworcowa 49
Ziętek Bronisław, Bydgoszcz, Warmińskiego 17

ODDZIAŁ POZNAŃSKI

Abramow Paweł, Poznań, Kosińskiego 19
Antczak Jan, Poznań, Słowackiego 55
Baczyżmalski Olgierd, Poznań, Kanałowa 15 m. 8
Bieroński Kazimierz, Poznań, Puławskiego 16
Bieske Günter, Wolsztyn, Niołek Wielki 24
Buławski Wojciech, Poznań, Działyńskich 3
Cyraniak Józef, Poznań, Zórawia 7
Czekajło Władysław, Poznań, Św. Józefa 5 m. 10
Dybizbański Julian, Poznań, pl. Kolegiacki 14 m. 1
Goździejewski Jan, Gubin, Kołłątaja 10
Hornziel Gustaw, Poznań, Cieszkowskiego 8 m. 8
Janicki Józef, Poznań, Dąbrowskiego 98
Janowski Leon, Poznań, Zakręt 2
Joszt Franciszek, Poznań, Lubeckiego 8
Jungermann Romuald, Poznań, Swoboda 13
Kodym Karol, Zielona Góra, Pionierska 83/85
Kokorniak Józef, Poznań, Jarochowskiego 36 m. 9
Kostecki Jerzy, Gorzów, Elektrownia, Składowa 11
Kuligowski Juliusz, Poznań, Fredry 2
Lueck Jan, Poznań, Wały Kr. Jadwigi 11 m. 8
Markowiak Stanisław, Gubin, Kołłątaja 10
Mikołajewski Stefan, Luboń, Puławskiego 4
Modrzejewski Ludwik, Poznań, Wierzbięcice 43 m. 8
Molski Władysław, Poznań, Skrytka pocztowa 1066
Nowakowski Władysław, Września, Żwirki i Wigury 28
Otlewski Wiktor, Poznań, Wrocławska 40 m. 5
Panufnik Kazimierz, Poznań, 23-go Lutego 21
Piński Witold, Poznań, Małeckiego 21
Piskorski Adam, Poznań, Wierzbięcice 39 m. 5
Przybylski Bronisław, Poznań, Fr. Skarbka 11
Pyszkowski Mieczysław, Wolsztyn, Poniatowskiego 13
Rajewski Marian, Poznań, Kossyusza 5 m. 6
Rybarski Jan, Poznań, Saperska 55
Rybczyński Brunon, Poznań, Dąbrowskiego 124 m. 5
Seidel Stefan, Poznań, Małopolska 3
Sobieski Jan, Poznań, ul. Wołyńska 1
Stanowski Stanisław, Poznań, Śląska 6/7 m. 2
Strzyżewski Eulegiusz, Poznań, Żorawia 7 m. 9
Sulerzyski Józef, Poznań, Matejki 52
Szczepański Juliusz, Poznań, Bojowa 7 m. 6
Szwedek Stefan, Poznań, Daszyńskiego 35 m. 3
Tabulski Stefan, Poznań, Wołyńska 24
Weker Henryk, Poznań, Marsz. Focha 73 m. 6
Węglarz Józef, Poznań, Partyzancka 5
Wiszniewski Marian, Poznań, Dąbrowskiego 124
Woźnikowski Tadeusz, Poznań, 27-go Grudnia 2
Żołubak Edward, Poznań, Akacjowa 35 m. 4

ODDZIAŁ RADOMSKO-KIELECKI

Bobiński Jerzy, Ostrowiec Kiel., Zakł. Ostrowieckie, Wielkie Piece
Budzianowski Władysław, Ostrowiec Kiel., Boenera 26
Chlebowski Robert, Pionki, Z. E. O. R. K.
Danowski Czesław, Skarżysko-Kamienna, Spółdzielcza 15
Gliński Stanisław, Skarżysko-Kamienna, Górnicza 10
Gośniewski Jan, Kielce, Focha 17
Górski Leszek, Skarżysko-Kamienna, Konarskiego 32
Hamann Bernard, Skarżysko-Kamienna, 3-go Maja 88
Hintz Bronisław, Jędrzejów, Z. E. O. R. K.
Jacobi Czesław, Radom, Mickiewicza 5 m. 4
Jakubowski Wacław, Skarżysko-Kamienna, Konarskiego 12
Janicki Piotr, Radom, Mickiewicza 4
Jelonkiewicz Jerzy, Skarżysko-Kamienna, Rejowska 6
Jędrzejczyk Edward, Starachowice-Wierzbnik, Piłsudskiego 112a
Kraterski Stefan, Skarżysko-Kamienna, Spółdzielcza 31
Lindner Wacław, Skarżysko-Kamienna, Brzozowa 1
Łuniewski Grzegorz, Skarżysko-Kamienna, Żeromskiego 24
Mazur Leonard, Pionki, Elektrownia P. W. P.
Miller Jan, Skarżysko-Kamienna, Żeromskiego 26
Mucha Mieczysław, Jędrzejów, 14-go Stycznia 117
Neumann de Spallart Zygmunt, Radom, Kopernika 3 m. 4
Paszyc Władysław, Kielce, Sienkiewicza 59
Prószyński Józef, Pionki P. W. P.
Przanowski Karol, Skarżysko-Kamienna, Żeromskiego 42
Radzik Antoni, Skarżysko-Kamienna, Piłsudskiego 136
Rudnicki Bogdan, Skarżysko-Kamienna, Puławskiego 12
Sarnowski Zenon, Godów k. Radomia, Z. E. O. R. K.
Sielicki Leopold, Radom, 1-go Maja 36 m. 1
Szorc Witold, Radom, Żeromskiego 25
Tytko Stanisław, Jędrzejów, Rynek 13
Żurowski Karol, Radom, Żeromskiego 63

ODDZIAŁ SZCZECIŃSKI

Bargiel Kazimierz, Szczecin, Pocztowa 10 m. 2
Binder Piotr, (T), Szczecin, Traugutta 146

Ciąg dalszy na str. VII